

# LA CUÁDRUPLE REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA Y EL SUBDESARROLLO: FUNCIÓN DE LA UNIVERSIDAD

Raúl Torres Martínez\*

Al finalizar el siglo XX la Revolución Científica y Tecnológica (R.C.T.) se encuentra en una importante etapa de su desarrollo que, en lo sustantivo, implica cambios paradigmáticos en el campo tecnológico. Con toda propiedad puede hablarse de la existencia de revoluciones tecnológicas que abarcan los campos de la *microelectrónica*, de la *biotecnología*, de los *energéticos* y de los *materiales*.

La investigación científica pura y aplicada se pone al servicio del cambio tecnológico, lo cual es conocido con el nombre de *investigación y desarrollo* (ID). Esto significa una integración del *proceso investigación-producción*, que revela, a todas luces, que en la R.C.T. la ciencia ha pasado a ser una *fuerza productiva directa*.

Estos fenómenos se caracterizan por la gran *rapidez* con que se han puesto en boga, por los constantes cambios que implican y por las permanentes innovaciones que presentan en sus concreciones. En muchos casos, un lustro es un período suficiente para la obsolescencia total de los productos tecnológicos que se generan. La ID hace posible que la innovación tecnológica sea una constante de esta etapa de la R.C.T. Para distinguir entre uno y otro producto tecnológico es necesario ubicarlos en distintas generaciones. Así una sucede a la otra y la prospectiva avisora la pronta obsolescencia de un "modelo" y su reemplazo por otro, con evidentes ventajas por sobre sus antecesores.

A lo anterior se agrega la explicable *convergencia* que se produce entre las revoluciones tecnológicas, de modo tal que una se apoya sobre la otra y sus derivaciones científico-técnicas se realizan en el concierto de la unicidad de *saberes-haceres*, en estructuración sistémica. Resulta oportuno el intento de una visión globalizada de esta situación, a la par que parece conveniente establecer las implicaciones que puede tener para los países del Tercer Mundo. Averiguar qué función compete a la Universidad Latinoamericana frente a tan acelerado y profundo proceso de cambio tecnológico, resulta también una tarea singularmente atractiva. Estos son los propósitos de este trabajo.

## 1. LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

No puede parecer extraño que existan muchas denominaciones para la época actual. Preferimos la de Revolución Científica y Tecnológica. Por cuanto forma parte de una periodización histórica cronocualitativa que incluye a la Revolución Industrial del siglo XVIII y a la Revolución de la Agricultura y la Ganadería o Revolución Neolítica, que se ubica ocho mil años A.C. Se trata de tres grandes revoluciones técnicas que representan, en materia de creación del hombre, los hitos más relevantes de la historia de la humanidad. Una perspectiva de este tipo es, más bien, infrecuente, por cuanto muchos prefieren las concepciones de base puramente cuantitativa, como Edad Antigua, Edad Media, Tiempos Modernos y otras en que se mezcla caóticamente lo cronológico con lo cualitativo. Tampoco existe unanimidad para hacer una periodización histórica a partir de la Revolución Industrial. Muchos distinguen con claridad entre esta revolución y la R.C.T. Es el caso nuestro, ya que postulamos que ésta no es una etapa de aquélla. Se trata de una revolución distinta que posee una estructura muy diferente a la anterior. No obstante ello, muchos consideran que corresponde a una segunda revolución industrial o, aún, a una tercera. "*Se considera que la primera revolución industrial que tuvo lugar de 1780 a 1840 y tantos se basó en la aplicación de la máquina a vapor. La segunda, ocurrida entre 1860 y 1910, se habría basado en la aplicación de nuevas formas de energía derivadas del petróleo y la electricidad. Según este tipo de clasificación, la tercera revolución industrial, a partir de los años cincuenta, se basaría en la nueva energía nuclear, pero un esquema más frecuente, con puntos de referencia distintos, la define como la aplicación de los sistemas electrónicos—ordenadores, automatización, microchips— a campos cada vez más amplios de la producción y el control*". (Williams, p. 99).

Con toda razón, este autor dice que, al hablar de revoluciones del tipo de las señaladas, no puede repararse solamente en los avances técnicos y/o científicos. Es preciso vincularlos al nuevo carácter que adoptan las fuerzas produc-

\* Profesor de Historia de Cultura de la Universidad de Costa Rica, especializado en Historia del Desarrollo Científico y Tecnológico.

tivas. En el caso concreto de la Revolución Industrial, surge el modo de producción capitalista. La R.C.T. implica la convivencia y crisis de éste con el modo de producción socialista que, según la prognosis marxista, era el destinado a reemplazar al primero.

En este momento de crisis de los sistemas que estos modos de producción han creado, parece obvio el surgir de uno nuevo que garantice la paz mundial. No creemos auspicioso el futuro del neoliberalismo, que resulta un antihumano paliativo a la crisis capitalista, en la misma medida en que el socialismo debe considerar la posibilidad de la existencia de la propiedad, al margen del control exclusivo del estado; percepción económica de la que no puede estar ausente la importancia del mercado, que incluye la necesidad de tomar en cuenta los intereses del consumidor, lo que no implica que se pase del socialismo a la economía social de mercado, en términos friedmannianos.

Williams es proclive a llamar Sociedad Postindustrial a la actual, al partir de la base de que ésta es básicamente distinta de la Revolución Industrial del siglo XVIII. En conclusión, este autor distingue dos revoluciones técnicas: la industrial y la actual, la postindustrial.

Adam Shaff habla, también, de una Primera y una Segunda Revolución Industrial “*La diferencia estriba en que, si bien la primera (. . .) nos dio varias facilidades e incrementó la efectividad del trabajo humano la segunda aspira a la eliminación de dicho trabajo*”, (p. 27).

Estas dos revoluciones son sustantivamente distintas. En una predomina la industrialización de la técnica; en la otra, el desarrollo paralelo y sin parangón de la ciencia y la tecnología, en que, entre otros múltiples factores, se produce un cambio fundamental en el carácter del trabajo que raudamente tiende a la producción automatizada.

Pero existen, además, quienes no creen que vivimos en una época revolucionaria. No se trata de que la llamemos indistintamente Revolución Científica y Tecnológica o bien Segunda o Tercera Revolución Industrial o, en última instancia, Sociedad Postindustrial. Howard Rosenbrock, después de aceptar la existencia de dos revoluciones técnicas (aunque expresamente no las califica así) como son la Neolítica y la Industrial, plantea que actualmente no estamos frente a una nueva revolución industrial. El impacto de la microelectrónica, no es, a su juicio, suficientemente relevante para constituir una revolución. “*No consideramos que la microelectrónica, y las computadoras y los sistemas de comunicaciones produzcan un nuevo punto de partida comparable al que ocurrió en Inglaterra entre 1780 y 1830*”, (p. 539).

Creemos que éste y otros autores carecen de una perspectiva adecuada acerca de las profundas transformaciones que ha producido en la vida humana la R.C.T., o como quiera llamársela. No se trata de un simple cambio en el carácter del trabajo, representado por la disminución del esfuerzo físico; tampoco es el paso del trabajo al no trabajo. Es un cambio del sentido de la existencia. Ello, por cuanto, prácticamente, no existen vallas que puedan interponerse al poder de la ciencia y la tecnología manejadas por el hombre. La cultura humana se encuentra signada por el progreso, que genera, a su vez, como contrapartida, la posible destrucción de la humanidad. Nunca antes el hombre tuvo tan claro conocimiento de que, en determinado instante, podían prevalecer los valores antivitales que encierra, por ejemplo, el descabellado proyecto de “guerra de las galaxias” del expresidente Reagan. Es que la crisis que fue, primero, un elemento histórico coyuntural, pasó a constituirse, después, en uno de tipo estructural, carácter que le dio el “shock del futuro”, que obliga a vivir con la perspectiva del temor al mañana apocalíptico. Estas, a nuestro juicio, son secuelas de la R.C.T. que nunca antes marcaron tan a fondo la humana existencia. Todo esto y mucho más, hace que vivamos una revolución distinta a la Industrial del siglo XVIII.

## 2. CUATRO REVOLUCIONES TECNOLÓGICAS: ALGUNAS PERSPECTIVAS

Así concebida la R.C.T., tienen lugar en su seno las referidas revoluciones tecnológicas. Forman parte de un contexto mayor que les sirve de marco histórico. Presentan en conjunto un notable parentesco, una histórica interacción.

En 1964, en la edición inglesa del libro “*The Science of Science*”, el genial historiador de la ciencia John Bernal, ya vislumbraba con claridad el surgir próximo de algunas de estas revoluciones. “*En este período de posguerra se abrieron tres áreas de avances cada una de las cuales contiene la promesa de lograr conquistas mucho mayores. La primera es la disponibilidad de energía en cantidades ilimitadas*”, (1968, p. 345).

Piensa Bernal en la energía generada mediante la fisión atómica; en la electricidad producida por el calor de origen magneto hidrodinámico, etc.

“La segunda área, quizá mayor en su efecto, es el invento puramente lógico y matemático surgido con el desarrollo de la computadora”, (Ibídem). Cree que en la evolución de este producto tecnológico es fundamental la utilización de los semiconductores. “La invención está destinada a producir enormes efectos que apenas se comienzan a advertir”, (Idem, 346).

Piensa que la computadora tendrá una función básica en el progreso científico y que, incluso, permitirá el avance de las matemáticas puras, ya que posibilitará diversos tipos de cálculo, en esa época imposibles o de dificultosa realización; ello, sin considerar el papel fundamental que cumplirán en el proceso productivo automatizado. No anticipa Bernal, por razones obvias, cómo la influencia de la computadora transformaría en actor importantísimo al hombre común, al surgir la microelectrónica. Tiene claro, este autor, eso sí, el papel revolucionario que pasaría a tener la Biotecnología. Hace presente que “los grandes descubrimientos de mediados del siglo XX, realizados en la bioquímica y en su transformación en la ultramicrobioquímica del interior de la célula, que han culminado con la elucidación del mecanismo genético, no sólo constituyen grandes triunfos intelectuales sino que, además, ofrecen por primera vez la posibilidad de ejercer un control consciente de los procesos biológicos”, (Idem, p. 347).

Cree Bernal que el progreso científico que acompañará a este proceso revolucionario de la ciencia, lleva a una *Revolución en la Investigación*. Piensa que, para ello, es preciso poseer una *conciencia de la ciencia*, a lo cual él llama la *ciencia de la ciencia*, que puede iluminar a esta disciplina como conjunto. Dice que los países subdesarrollados tienen tanto que dar a la ciencia, como recibir de ella, (Idem, 253). No se trata de que cultiven una ciencia simplificada, sino que presten su contribución, al mismo tiempo que cuenten con el aporte de la comunidad científica internacional. Ello, en conformidad con las tareas que corresponden a la *función social de la ciencia*, de modo que se garantice que “la ciencia deje de ser una amenaza para la humanidad y se convierta en una garantía para un futuro mejor”, (Idem, p. 361).

Es preciso señalar que la claridad de la prospectiva de John Bernal no es casual. No sólo es el que concibe el término Revolución Científica y Tecnológica, para denominar a la época que se inicia a partir del fin de la Segunda Guerra Mundial, sino quien lo caracteriza de manera más acertada. Esto tiene gran importancia dado que, aún hoy, son escasos quienes han logrado profundizar con tanta propiedad en la época en que vivimos. (Bernal, 1979).

Otro autor que muy recientemente detecta la existencia de estas revoluciones tecnológicas es el ya citado Adam Schaff. A su juicio, éstas se desarrollan durante la Segunda Revolución Industrial, equivalente, para él, al concepto de R.C.T. Señala: “No siempre nos damos cuenta de que ya nos vemos sumergidos en la acelerada revolución microelectrónica”, (p. 26). Cree que este fenómeno histórico es fundamental para lo que llama “la actual revolución de la ciencia y la tecnología”, (Ibídem).

Agrega que otra revolución tecnológica es la de “la microbiología y su componente resultante, la ingeniería genética”, (Ibídem). Dice que los cambios más importantes de la cultura humana se darán en este campo “ofreciendo con ello a los seres humanos la posibilidad de dominar no sólo la naturaleza orgánica en general, sino también su propio ego. Las perspectivas son fantásticas, pero están plagadas de enormes peligros para la vida social”. Señala que la ingeniería genética permite el cambio del código genético de plantas y animales e, inclusive, hace posible crear seres distintos que nunca antes existieron. Es posible, así, luchar en contra de las enfermedades innatas y producir nuevas variedades de animales y plantas.

Hace presente que “la revolución en el suministro de energía es el tercer elemento de la revolución científica y tecnológica” (Ibídem, p. 30) y que los recursos energéticos no renovables serán reemplazados por nuevas fuentes prácticamente inagotables.

Concluye que: “la tríada revolucionaria –microelectrónica, microbiología y energía nuclear– traza los mapas del conocimiento humano y, por ende, también del desarrollo de la humanidad”, (Idem, p. 30).

Enfatiza tanto en las posibilidades beneficiosas de estas revoluciones como en los peligros que representan.

Robert U. Ayres, en una de sus obras de prospectiva científico-tecnológica, destaca la importancia de la revolución electrónica, el notable valor del rayo láser y la utilización de fibras ópticas en los procesos de comunicación. “El primer sistema de fibras ópticas se está construyendo en Pittsburg (. . .) y es capaz de transmitir hasta 80.000 llamadas telefónicas simultáneamente”, (p. 203). Avisora la pronta aparición del periódico electrónico; anticipa la influencia de la microelectrónica en la oficina, la escuela y la fábrica del futuro, amén de la, a su juicio, pronta presencia de las computadoras de quinta generación.

En cuanto a la revolución relativa a las opciones energéticas, detalla la amplia gama de los sustitutos del petróleo, entre los que no están ausentes recursos tomados de la superficie lunar: “Una planta de materiales lunares producirá

aluminio, titanio y silicón ultrapuro (. . .) Una base (. . .) de extracción lunar podría ser el asentamiento de, por ejemplo, una futura industria de fabricación de celdillas solares de silicón, localizada en el espacio (. . .) Otra posibilidad a largo plazo es la extendida conversión directa de energía solar a través de celdillas fotovoltaicas plegadas tanto en la tierra como en el espacio”, (Idem, pp. 190-191). Respecto de la revolución biotecnológica, señala: “En un futuro muy cercano, las bacterias o las células de la levadura podrán convertirse en fábricas biológicas para producir ciertos elementos deseados, de origen biológico y en cantidades comerciales, así como se producen antibióticos”, (Idem, p. 237).

Destaca, también, los usos de la tecnología en la recombinación del ADN, “para fabricar diversos productos farmacéuticos como antibióticos y productos alimenticios como vitaminas y aminoácidos, hormonas de crecimiento para plantas y animales, pesticidas, vacunas animales, aditivos alimenticios, productos químicos orgánicos, enzimas de utilización industrial, alcohol, metano, nitrógeno, uranio, etc.”, (Idem, p. 238).

“Un desarrollo a largo plazo que se está explorando actualmente, es el potencial de la biotecnología como un medio para dispositivos electrónicos a escala molecular o biochips”, (Idem, p. 239). Ayres anticipa la convergencia de la electrónica y la bioingeniería.

La visión más completa que conocemos respecto de la cuádruple revolución tecnológica se encuentra en la obra dirigida por Carlos Ominami “*La Tercera Revolución Industrial, impactos internacionales del viraje tecnológico*”. Se trata, evidentemente, de una obra multidisciplinaria con intentos importantes de interdisciplinariedad. Sobresale el trabajo de Carlota Pérez, de nacionalidad venezolana, graduada en Ciencias Sociales Interdisciplinarias por la Universidad de París y California. Su trabajo “*Las nuevas tecnologías: una visión de conjunto*”, evidencia la forzosa necesidad del tratamiento transdisciplinario del fenómeno en estudio, por cuanto la cuádruple revolución tecnológica constituye una unidad: en el fondo es una sola gran revolución en el contexto de la R.C.T. Es una obvia consecuencia de una época que tiende a la convergencia de las distintas expresiones de los diversos *saberes-haceres* que, en última instancia, se expresan en la interrelación de la ciencia y la tecnología, en la transdisciplinariedad y en la proclividad futura hacia la unicidad de la ciencia, a la par de la estructuración sistémica del conjunto del saber y el hacer.

Otra obra que también da una visión integrada del fenómeno investigado es la de Leonard Mertens “*Crisis económica y Revolucionaria Tecnológica: hacia nuevas estrategias de las organizaciones sindicales*”. Aunque su intención se centra en las consecuencias laborales del cambio tecnológico, parte de una excelente visión global de la cuádruple revolución tecnológica.

### 3. LOS EFECTOS PARADIGMÁTICOS DE UNA REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA

La existencia de una revolución tecnológica se explica en virtud de los *cambios paradigmáticos* que produce. Para establecer con claridad esta concepción conviene recordar que Thomas Kuhn intentó fijar la estructura de las revoluciones científicas. En otro trabajo (Torres, Chavarría, 1990) se pone en parangón a este autor con sus críticos más acerbos, entre los que destaca Mario Bunge.

Sobre las bases de la concepción Kuhniana, perfeccionada por Bunge y con nuestro propio aporte, creemos que el actual concepto de Revolución Científica debe enunciarse de la siguiente manera:

*La investigación científica NORMAL se efectúa sobre la base de un paradigma vigente; no obstante, empieza a perder validez, gracias a la investigación EXTRAORDINARIA que se realiza, que puede significar el surgimiento de un nuevo paradigma que implica una revolución científica. No es imprescindible que el paradigma anterior haya perdido total vigencia. Hay una época de transición, previa a la total puesta en vigencia del paradigma nuevo, que puede constituir una etapa de crisis.*

Lo que se señala para las revoluciones científicas puede proyectarse a las revoluciones sociopolíticas y, por cierto, a las revoluciones tecnológicas. En relación con estas últimas, la investigación científico-tecnológica NORMAL tiene finalidades tecnológicas rutinarias. En cambio la INVESTIGACION Y DESARROLLO (ID) equivale, para el caso, a la investigación EXTRAORDINARIA, ya que su objetivo es la investigación en ciencia básica y aplicada para desarrollar nuevos procesos y productos, lo que en muchos casos lleva a la innovación tecnológica. En el caso de las denominadas revoluciones tecnológicas se han producido cambios de paradigma. Esto es más evidente en el terreno de la microelectrónica y la biotecnología y, en muchos casos, por razones de convergencia, en el campo de los nuevos energéticos y materiales.

El referido cambio de paradigma que una revolución tecnológica implique debe expresarse en *el surgir de productos radicalmente nuevos, derivados de procesos productivos transformados en su mayor parte o en su totalidad, aplicables en múltiples sectores de la economía, de modo tal que faciliten su crecimiento.* (Mertens, p. 60).

En este trabajo pretendemos demostrar que el *cambio paradigmático* que las revoluciones tecnológicas significan se expresa en el surgir de productos totalmente nuevos, como computadoras de cuarta o quinta generación, fármacos, plantas u otros seres vivos, energéticos o materiales, que producen una *desestructuración* de la economía mundial, sobre la base derivada de una *desmaterialización* de la producción, que trae como correlato real o potencial una nueva división internacional del trabajo, que beneficia directamente a los países industrializados y amenaza tener graves efectos en los tercermundistas, si éstos no se adecuan a las inexorables exigencias de la R.C.T. en su conjunto.

Según Carlota Pérez (pp. 49 a 62), la generación y extensión de una revolución tecnológica, tanto de una rama a otra de la producción como a escala mundial, depende de un *factor clave* (uno o varios insumos) en cada paradigma, que debe poseer costo reducido con tendencia a bajar más y tener una oferta ilimitada de usos potenciales de carácter universal y masivo. A lo que tiene que agregarse su aplicación a innovaciones técnicas y organizativas. Estas deben tener la capacidad de reducir costos tanto en materia de infraestructura, como de mano de obra y en relación con los productos que se fabriquen. En el pasado fueron factores claves en distintas épocas: el carbón, el acero y el petróleo baratos que dieron lugar a nuevos paradigmas ya superados. En la actualidad esta situación se da con la microelectrónica. El surgir del "chip" implica el abaratamiento de los productos electrónicos y su difusión universal y masiva. Una revolución tecnológica no se expresa sólo en un nuevo producto técnico, sino en las consecuencias económicas que produce y, particularmente, en relación con el abaratamiento de costos y la generación de un conjunto de innovaciones tecnológicas surgidas de él. Es lo que sucede, por ejemplo, en el seno de la microelectrónica en que, además de sus efectos económicos, como en todos los casos, deben considerarse los de tipo científico, tecnológico y social, o sea la totalidad de la cultura.

La biotecnología tiene aún un desarrollo incipiente: "*Si se hace una analogía con la evolución de la microelectrónica, podría decirse que la biotecnología, se encuentra en la fase de las válvulas*". (Pérez, p. 79). Esto no implica que no haya *convergencia* entre uno y otro fenómeno. Así la fabricación de BIOCHIPS O BIOSENSORES se encuentra en el campo común de la denominada BIOELECTRONICA. "*Vistas globalmente, puede decirse que la microelectrónica y la biotecnología son complementarias (. . .). En ambas no sólo se modifican los métodos de producción, sino que se abre un amplio abanico de oportunidades de generación de productos radicalmente nuevos*" (Idem, p. 81).

El actual paradigma tecnológico está regido por la microelectrónica que actúa como vector suyo. Esto es, a ella están subordinadas la biotecnología y los nuevos energéticos y materiales. Los cambios de dicho paradigma implican crisis en gran escala que afectan particularmente a todos los mercados. "*Su asimilación exige, por lo tanto, cambios sustanciales en el marco socioinstitucional prevaleciente, el cual había sido establecido en función de las características del paradigma anterior*", (Idem, p. 55).

Gestar una nueva estructura socioinstitucional, adecuada a los cambios tecnológicos propios del nuevo paradigma en que aún subsisten valoraciones y circunstancias del paradigma superado, no es tarea fácil. Los productos tecnológicos por sí solos no bastan. Los procesadores de palabras, los facsímiles, los modems no cambian por ellos mismos las mentalidades surgidas con el paradigma anterior, lo que, evidentemente, se refleja en el proceso productivo que demora en alcanzar su plenitud. El paso de un paradigma a otro representa, por cierto, un período de transición tecnológica que deberá superarse mediante la adecuada adopción de medidas tendientes a producir las transformaciones correspondientes, lo que requiere, previamente, de la clara comprensión de la nueva situación paradigmática.

Haremos, enseguida, una descripción de cada una de las revoluciones tecnológicas y sus implicaciones económicas y sociales.

#### 4. LA REVOLUCIÓN MICROELECTRÓNICA

El desarrollo de la física del estado sólido ha abierto camino a una vasta serie de procesos y productos que singularizan a la época actual. Si la ciencia y la tecnología han contribuido a romper los límites naturales del espacio y del tiempo, han dado, a su vez, a la cultura un carácter inestable, cuyo vaivén la hace moverse entre los polos extremos del progreso y el caos, lo que explica la grave crisis contemporánea. Ello ha sido posible por la existencia, entre otros

hechos, de la producción automatizada, las exploraciones espaciales, los cohetes teledirigidos. Productos, como las computadoras, las calculadoras electrónicas, los radiotransistores, las grabadoras portátiles, los marcapasos, los audífonos para tardos de oídos, no serían posibles sin el notable avance de la ciencia física.

Los *transistores* que reemplazaron con grandes ventajas a las *válvulas de vacío*, (inventadas en 1904) son producto del trabajo interespecializado de centenares de científicos, tecnólogos y de un variado tipo de trabajadores. A medida que se perfeccionaron, desplazaron a las válvulas, en atención a la pequeñez de su tamaño, al gran ahorro de energía que permiten, a su resistencia mayor a los golpes y vibraciones, a que no requieren de envolturas herméticas y a que poseen una mayor vida útil y están sujetos a menos fallas. Inventados en 1947, fue necesario no sólo la genialidad de los físicos que los concibieron (Bardeen, Brattain y Shockley), sino de la contribución de veintenas de químicos y metalurgistas —por mencionar sólo a estos dos tipos de especialistas— que pusieron los semiconductores al servicio de estos tres físicos teórico-prácticos. Todos ellos pertenecían a los Laboratorios Bell de Nueva Jersey (E.E.U.U.) que, en esa época, empleaban a 5.700 personas de las cuales 2.000, por lo menos, eran tecnólogos y científicos altamente calificados (Hacia 1970 su personal alcanzaba a casi 20.000 personas). Este hecho que se explica en virtud de la incorporación directa de la ciencia al proceso productivo, hace posible la creación del transistor y garantiza su respectiva evolución, que produce cambios que afectan a aspectos básicos de la cultura y la sociedad humanas. Posteriormente, el empleo del *circuito integrado* agudiza, aún más, el proceso evolutivo que abre posibilidades a la miniaturización propia de la microelectrónica. Aunque la primera patente de invención la registró Jack Kilby, de la Texas Instruments, en 1953, los circuitos integrados estuvieron comercialmente disponibles sólo en 1962.

El impacto de la microelectrónica en la cultura y la sociedad contemporáneas no tiene parangón histórico. “Si desapareciera o se alterara, por un solo instante, toda la gama de artefactos que involucran a los semiconductores o controles electrónicos transistorizados (. . .) pocos o ningún aparato de comunicación funcionaría. Tampoco los aviones, ni muchos automóviles, ni las oficinas de ningún gobierno del mundo. Del mismo modo, también quedarían inservibles los aparatos relacionados con la medicina, los negocios y la diversión”. (Rangel, p. 103).

“Para darse una idea más precisa acerca de la presencia de los transistores en estos aparatos, diremos que se necesitan alrededor de 6000 transistores individuales en cada calculadora de bolsillo para realizar únicamente todas las funciones aritméticas”, (Ibídem).

La rápida evolución del circuito integrado es asombrosa, tanto respecto del ahorro de energía, como en cuanto al mayor número de componentes que incluyen. Sobre una sola micropastilla (chip) de silicón, cabían, cuando recién se crearon, cinco transistores. Ese espacio tan reducido, en 1971, da cabida a mil transistores; en 1982, a ciento cincuenta mil; en 1983, a doscientos cincuenta mil; hoy, pueden llegar al millón de transistores. Robert Ayres (p. 206) señala que los japoneses plantean la posibilidad de llegar a los diez millones de transistores por chip, todo ello con una disminución considerable en materia de costos y en cuanto a miniaturización se refiere. La revista “Byte” (Bolaños, p. 17) cree que esta acelerada carrera se aproxima a su fin, por cuanto los componentes estructurados sobre la base de semiconductores habrán llegado al tamaño mínimo y a la máxima rapidez posibles. Será necesario generarlos con materiales distintos y, a su vez, con diferentes tecnologías. Se piensa que este camino se encuentra en el desarrollo de la óptica, en reemplazo de la electrónica, a la que se da el nombre de *optoelectrónica*. Los laboratorios Bell ya están en condiciones de elaborar experimentalmente computadoras ópticas con rayos láser, en lugar de chips y electricidad, que pueden trabajar muy ventajosamente si se las compara con las computadoras electrónicas.

Se cree que, en un futuro relativamente próximo, surgirán las denominadas computadoras de la quinta generación, que permitirán el procesamiento de datos no numéricos en el ámbito de la llamada *inteligencia artificial*, que pretende la reproducción de algunas facultades humanas. Tales computadoras están destinadas más a razonar que a calcular. La primera generación corresponde a las computadoras con tubos de vacío que surge a principios de los años cuarenta con capacidad de memoria para almacenamiento de programas. La segunda, con unidades centrales de transistores, que surge a fines de los cincuenta, con posibilidades de lenguaje de mayor nivel que la generación anterior (COBOL), memoria magnética, tarjetas perforadas para ingreso de datos e impresora. La tercera, con circuitos escasamente integrados, que surge en los años sesenta. La cuarta con circuitos de alta integración miniaturizados, que surge a fines de los sesenta y se mantiene hasta hoy con microprocesadores y microcomputadoras, con disquetes y discos ópticos para almacenamiento de información. Se fabrican, también, las supercomputadoras.

Entre otras múltiples funciones relativas al procesamiento de información, se piensa que las computadoras de quinta generación —que se cree tendrán circuitos integrados de arseniuro de galio— estarán programadas para el manejo de idiomas hablados por el hombre y podrán hacer traducciones. Se dice que utilizarán hasta diez mil términos, dos

mil reglas gramaticales y les será posible hacer análisis sintáctico con un 99% de exactitud. Podrán reconocer la voz y su máximo mérito implica que procesarán conocimientos y no sólo datos, como todas las de las generaciones anteriores. Algunos, como el filósofo y físico Mario Bunge, son excépticos respecto del surgir de esta generación de computadoras. Dice “yo lo dudo. *Qui viva verra*”, (p. 232).

Se señala que tales máquinas podrán realizar diez mil millones de operaciones numéricas por segundo, con una capacidad de memoria de un mil millones de “bytes”, a lo que debe agregarse la comprensión de lenguajes y procesamiento de imagen pictórica, además de la ya señalada comprensión multilingual y la inteligencia capaz de aprender, asociar e inferir. (Ayres, p. 235).

En el aspecto de financiamiento para este proyecto de diez años de duración, los japoneses presupuestaron en 1982 quinientos mil millones de dólares, sin incluir salarios de los funcionarios gubernamentales.

Michel Claessens, no obstante preguntarse si estamos frente a una ilusión de inteligencia (“¿Inteligencia artificial? Digamos más bien *artificio de inteligencia*” (p. 122), cree que en el futuro las computadoras no serán meras máquinas de calcular; no obstante su “inteligencia” no tendrán mucho que ver con la del hombre: “Jamás veremos manifestarse en las computadoras ciertos componentes propios de la inteligencia humana. Parece ilusorio esperar que un circuito electrónico desarrolle esta forma de inteligencia que es la sensibilidad”. (Claessens, pp. 126-127).

El filósofo costarricense Doctor Claudio Gutiérrez, señala, al verificar la existencia de la inteligencia artificial: “las máquinas y los hombres tendrán en común la razón y lo que nos diferenciará de las máquinas será que además tenemos afectos, como antes decíamos tener en común con los animales los afectos y diferenciarnos de ellos por la razón”, (p. 14). Contrariamente a Claessens, cree este autor que ya no tenemos el monopolio de la inteligencia, a menos que hagamos una definición caprichosa de ésta; que la imagen que el hombre tiene de sí mismo sufrirá los efectos de la revolución informática tanto individual como socialmente; ello, en la medida en que ésta se vaya introduciendo en el medio humano, (Ibídem).

Da para meditar profundamente el tono asertivo de estas palabras tuyas: “Pero es más discutible que el que tengamos afectos nos dé un privilegio tan grande sobre las máquinas como el que suponíamos nos daba la razón sobre los animales (. . .), probablemente el mayor efecto de los afectos sea distorsionar nuestra conducta y conducirnos hacia acciones que nos perjudican”. (Ibídem, el subrayado es nuestro).

Vale la pena preguntarse: ¿Es un aspecto fundamental, esencial de la condición humana el tener afectos, o, en términos de Claessens, de sensibilidad? ¿Puede lamentarse que poseamos esta característica tan propia del ser simbólico que es el hombre? ¿Puede considerarse perjudicial la vinculación emotiva que nos liga a los demás seres y al mundo, o nuestro destino es la *objetividad* o, en última instancia, la *verdad* al margen de la *pasión*? ¿Podría aspirarse a una condición humana mejor por carencia de una vida afectiva?

Recordamos lo que leíamos por allá por la década de los sesenta: “Llegará un día en que dicho pensamiento regulado superior (el del hombre) será aventajado por las máquinas como ya lo ha sido nuestra fuerza muscular. De la misma manera que un martinete golpea con más fuerza que el hombre, la máquina de pensar pensará mejor que él (. . .); las máquinas aventajarán al hombre y su pensamiento”. (Aurel, p. 93).

Antes, este mismo autor, se había tomado la libertad de señalar “Inútil es afirmar que las máquinas no lograrán jamás componer una sonata o escribir una tragedia. En realidad la mayor parte de los hombres tampoco lo han hecho y, sin embargo, se tienen por humanos”, (Idem, p. 92). Con lo que parece consolarse de que la *superioridad* de las máquinas no se vea empañada por una cualidad que tienen sólo algunos hombres.

Al finalizar la década de los ochenta, el impacto de la electrónica y la informática en el proceso productivo, implica profundos cambios económicos y sociales. En los países de mayor desarrollo industrial, los capitales de las empresas de informática se encuentran muchas veces por sobre los que concentran sus intereses en otros campos como, por ejemplo, bancos o automóviles. La microelectrónica tiene, evidentemente, un papel decisivo en los procesos industriales de automatización industrial, amén de que está vinculada a todos los procesos relativos a telecomunicaciones.

La propia producción de chips y de circuitos de alta integración, a partir de los años ochenta, ha dependido de procesos automáticos por cuanto las centenas de millares de elementos que los componen no podrían ser comprobados manualmente, ya que se precisa de equipos automatizados con control de computadora. (Bastos, pp. 92-93).

Para estos efectos no sólo ha sido necesario crear empresas gigantescas como la IBM en Estados Unidos, sino propiciar su integración sobre la base de cuantiosas inversiones en ID, como sucede con las empresas japonesas NEC, HITACHI, FUJITSU y otras.

La microelectrónica hace posible la introducción en la industria de robots, máquinas herramientas a control numérico, sistemas de automatización de manufacturas y una variada serie de innovaciones en el proceso de producción, que, en lo sustantivo, implican la sustitución ventajosa de mecanismos electromecánicos destinados a controlar máquinas y equipos. Todo esto significa el aumento de la productividad y la eficiencia, lo que tiene efectos en el campo laboral, por cuanto significa reducción del empleo industrial y problemas relativos a la calificación de mano de obra.

He aquí un ejemplo referente a la industria del cuero que se considera difícil de automatizar y, por lo general, ha dependido del trabajo artesanal: *“Recientemente en Francia se desarrolló una máquina equipada con una cámara que en un segundo analiza la calidad de una piel, en una banda de transferencia, la información es digitada y procesada por una computadora y, en menos de cinco segundos, transmitida con instrucciones a un robot que corta la piel mediante un chorrito de agua de alta precisión. Ventajas: en lugar de nueve artesanos calificados, dos operadores de máquinas calificados de escuela; en lugar de un desperdicio de 10% del cuero, sólo de un 5%. En total, un ahorro de aproximadamente 100 mil dólares al año. Con esto se vuelve rentable, nuevamente la industria del cuero en Francia. (La innovación fue posible gracias a los avances tanto en la microelectrónica como en la ciencia de los materiales, mediante la óptica y el corte con agua)”*. (Mertens, pp. 71-72).

La industria moderna está regida, pues, por un nuevo paradigma técnico económico, que supera el anterior, basado en la tecnología electromecánica que utilizaba grandes cantidades de energía y materia prima, lo que no sucede con la microelectrónica que sí precisa de abundante información y conocimientos tecnológicos.

Se produce la convergencia de la informática, las telecomunicaciones, los bienes de consumo durable y los bienes de capital. (Bastos, p. 105). *“Como consecuencia surge un nuevo macro sector industrial o COMPLEJO ELECTRONICO, regido por patrones competitivos propios”*, (Ibídem).

Los equipos de automatización industrial pasan a ser mucho más flexibles y aumentan las posibilidades de su aplicación a distintos campos.

Respecto del impacto de la revolución microelectrónica en los países del Tercer Mundo, es fácil colegir que, si no se adoptan las medidas correspondientes, puede contribuir a aumentar la brecha que los separa de los industrializados.

Los países subdesarrollados tienen que generar políticas nacionales y continentales que utilicen adecuadamente los aspectos beneficiosos de esta revolución tecnológica (en estrecha relación con las otras tres). Por ejemplo, es preciso que eviten la importación de servicios y que utilicen sus capacidades nacionales propias en el contexto de un sistema adecuado a los rasgos peculiares de cada país; lo que, a la postre, puede permitir, por ejemplo, el ensamblaje de equipos. A esto puede agregarse la producción nacional de *“software”*. La manufactura de equipos de *“hardware”* sólo tiene sentido cuando se trata de mercados grandes. No obstante, pueden instrumentarse políticas de alcances continentales. La integración nacional de algunos aparatos ensamblados a otros adquiridos por importación, puede también ser muy beneficiosa.

Debe estimularse la investigación en esta materia y el desarrollo de tecnología avanzada (ID), tanto a nivel nacional como regional. Es preciso que se establezca una legislación que pauté la política científico-tecnológica respectiva; al mismo tiempo, es necesario que se generen los estímulos correspondientes para la importación o la exportación de elementos de *“hardware”*. En las políticas de este tipo, tienen que prevalecer los intereses nacionales y regionales por sobre los *“dictados”* de los organismos que preconizan el predominio de las *“leyes”* del mercado internacional, particularmente las *“ordenanzas”* de corte neoliberal.

Señala Juan Rada (1982) que no basta con enfoques nacionales en el plano indicado. Se requiere de acuerdos de tipo regional. *“Nacionalmente no hay masa crítica en investigación y desarrollo, economía de escala, capacidad financiera o mercado capaz de hacer viable la tecnología avanzada a mediano plazo. Si esto es válido para la Comunidad Económica Europea, para América Latina lo es aún más. Es necesario dar pasos decisivos hacia la regionalización”*, (p. 118). Esta advertencia resulta muy oportuna para quienes han celebrado cálidamente la llamada *Ley de Promoción del Desarrollo Científico y Tecnológico de Costa Rica*, que hace abstracción, entre otras grandes omisiones, de cualquier proyecto de integración regional.

## 5. LA REVOLUCIÓN BIOTECNOLÓGICA

En la base de la biotecnología se encuentran los factores fundamentales que tipifican a la R.C.T. De una parte, es viva expresión de la unión indisoluble que se presenta entre la ciencia y la tecnología, que implica el fundamento del acelerado progreso que han generado el saber y el hacer contemporáneos. Por otra parte, la tecnología es influida por la ciencia, tanto como ésta lo es por aquélla. Ha sido superada la concepción de que, mientras la ciencia inventa, la



tecnología se limita a dar forma práctica al invento. Ambas en conjunto, significan concepción, invención y puesta en práctica. De otra parte, la biotecnología es posible porque es la resultante de una situación interdisciplinaria en la que la bioquímica, la microbiología y la ingeniería de procesos –por nombrar sólo algunas disciplinas que las componen– pasan a constituir una unidad estrechamente vinculada.

La biotecnología es un fenómeno científico industrial, que demuestra con meridiana claridad la afirmación de que la ciencia se ha constituido en una fuerza productiva directa en la R.C.T. La biotecnología no sólo permite la aplicación agrícola e industrial de los progresos de la ingeniería genética, sino que de todos los procesos industriales que utilizan la *biomasa* como materia prima, la cual está constituida por materia orgánica creada por conversión de la fotosíntesis de la energía solar.

La investigación científica y tecnológica pasa a ser el pilar fundamental de la industria moderna, que se preocupa no sólo de la búsqueda que conduce a la invención, sino que del perfeccionamiento de ésta. Implica un nuevo paradigma de producción industrial. No debe olvidarse que la biotecnología entraña la utilización de sustancias vivas o parte de ellas, para elaborar productos o servicios. Se trata, entonces, parafraseando a Stephanie Yanchinsky de hacer que los genes trabajen por nosotros. “*Nos hallamos inmersos en una nueva revolución industrial (. . .) (que) no se basa en el hierro y el acero, sino en los microbios que en manos de los científicos se convierten en minúsculas fábricas para producir fármacos exóticos, compuestos químicos, industriales, combustibles e incluso alimentos. El prefijo “bio” de biotecnología se refiere en general a bacterias y levaduras, pero también a otras células vivas como plantas, hongos y algas*”. (Yanchinsky, p. 7), o, en palabras de otro autor, “*ya está en marcha una revolución bio-industrial, merced a la cual buena parte de la industria química será sustituida por una nueva industria biológica, basada más en los hidratos de carbono y proteínas como materias primas que en el petróleo y en los hidrocarburos*”. (Archer, p. 29).

La tecnología suele ser sencilla, por cuanto muchas veces basta con la utilización de depósitos de acero, en los que se encuentran microbios vinculados a fuentes de alimentación y oxígeno “*mediante una intrincada red de válvulas que se abren y se cierran según los ritmos que marca un ordenador dirigido por inteligencia artificial. Todos los maravillosos recursos de nuestro mundo electrónico se aplican aquí a mantener la productividad de estos microbios a un nivel de eficacia máximo*”. (Ibídem, el destacado es nuestro). Con esto se verifica lo que hemos señalado respecto de la interacción que se produce entre las cuatro revoluciones tecnológicas. Recuérdase que también es posible la elaboración de combustibles mediante procedimientos de carácter biotecnológico y el papel que en el conjunto juegan los nuevos materiales.

Los microbios utilizados precisan de una “*dieta sencilla*”, como ocurre con la glucosa a partir de caña de azúcar, melaza y maíz, productos todos que pueden cosecharse periódicamente sin peligro de que se agoten.

La biotecnología resulta ser básicamente, un valioso instrumento productivo. Es posible la elaboración de compuestos químicos industriales, a costos mucho más bajos y con menos posibilidades de contaminación. Además, puede permitir la elaboración de una vasta serie de productos de extraordinaria significación para la vida humana.

“*Muchas bacterias transportan moléculas circulares del material básico de la vida, el ácido desoxirribonucleico (A.D.N.), conocidas como “plásmidos” que pueden reproducirse independientemente y transportan caracteres determinados como la resistencia a los antibióticos. Estos plásmidos tuvieron una importancia decisiva para el desarrollo de los procesos biotecnológicos*”, (Idem, p. 12).

Por su parte, las levaduras tienen A.D.N. organizado en forma de hules. Mientras los cromosomas de seres humanos son cuarenta y seis, los de las levaduras son diecisiete. A diferencia de las células “*priocariotas*” de los microbios, las de las levaduras son “*eucariotas*”.

Se tipifican por crecer sólo hasta determinado tamaño y, luego, se dividen de modo tal que cada célula resultante recibe la cantidad completa de cromosomas que corresponde a cada individuo. La reproducción de eucariotas es, por el contrario, muy complicada: “*En ambos tipos de células interviene la descomposición de materiales orgánicos, ya sea un tronco podrido o una pasta de cebada que se convierte en dióxido carbónico y alcohol; pero las bacterias son las principales responsables de la putrefacción, mientras que la fermentación se suele relacionar con las levaduras, como en el caso de la cerveza. No obstante, también las bacterias pueden cultivarse alimentándolas con nutrientes ricos, dentro de grandes depósitos, y este tipo de fermentación constituye la base de la moderna industria biotecnológica*”, (Idem, p. 13).

La biotecnología se basa en la biología molecular y genera una teoría que permite su propio desarrollo y el del resto de las disciplinas biológicas; su ámbito es de fronteras permanentemente renovables y exige una formación

científico intelectual sumamente sofisticada y de alto costo. Está protegida por patentes y por el secreto comercial, en especial cuando se aplica industrialmente a problemas biomédicos que generan productos de alto valor agregado. (Goldstein, pp. 190 y 193).

Una biotecnología verdaderamente significativa para un país debe partir de bases altamente competitivas, que tengan como sustento una biología molecular en pleno desarrollo, una medicina altamente preocupada por detectar los fundamentos fisiológicos, bioquímicos y genéticos de las enfermedades, con profesionales médicos que sean a la par investigadores y terapeutas, en condiciones de ensayar nuevas drogas. La farmacología debe utilizar los nuevos conocimientos así surgidos y los que por su parte origine la biología molecular para generar medicamentos y terapéuticas. La agronomía, por su parte, debe desarrollar una tarea en beneficio del surgir de productos vegetales. Todo esto, en estrecha relación con una industria agropecuaria pujante para impulsar el proceso productivo con proyecciones internacionales. (Goldstein, p. 190).

Todas estas características ponen de manifiesto el complicado proceso necesario para dar origen a la biotecnología, dadas sus estrechas implicaciones infra y supraestructurales. El fin de siglo sorprende a la humanidad en un complejo proceso en que la realidad sólo resulta comprensible en términos totalizadores, integrados, sistémicos, holísticos. Nunca ha resultado más cierta, a su vez, la interrelación entre teoría y práctica, trabajo intelectual y trabajo técnico.

Respecto de la biotecnología agrícola existen contribuciones sorprendentes que pueden producir cambios revolucionarios en relación con la alimentación de hombres y animales.

Se pueden cruzar especies muy alejadas entre ellas, que no podrían reproducirse mutuamente en forma sexuada. Se puede, también, reducir considerablemente el tiempo para cultivar y producir en gran escala. Las técnicas de *clonación* permiten que una célula obtenida de un vegetal, dé origen a una planta completa mediante cultivo de laboratorio. Las proteínas pueden enriquecerse por medio de fermentación microbiana de productos agrícolas, como es el caso del banano y la mandioca. Los productos así derivados están constituidos por una mezcla consumible de biomasa microbiana con abundantes proteínas generadas en residuos que poseen elevado valor nutritivo. Esto permite utilizar frutos desechados para la exportación y, en el caso de los países subdesarrollados, posibilita aumentar la existencia de proteínas para consumo popular. La Biotecnología puede modificar el sistema alimentario mundial. Recuérdese que según la FAO el consumo de proteínas, en dichos países, es inferior al 50% respecto de los desarrollados. En materia de proteínas animales, alcanza apenas a un 22% en relación con estos últimos. Pueden producirse proteínas a partir de organismos unicelulares (POU). Cuba produce 80 mil toneladas de levaduras y forrajes con base en la melaza de caña de azúcar.

Por otra parte, es posible obtener productos alimenticios a partir del petróleo o del metanol que son altamente nutritivos e inocuos. Aunque se usan para alimentación animal, en un futuro próximo, podrán ser consumidos por los seres humanos. Esta es una valiosa expectativa para los países productores de petróleo y gas natural. En 1987, los países árabes proyectaban producir 100 mil toneladas de POU al año, a partir apenas del 0.1% de su producción petrolera. Permite, también, la elaboración industrial de aminoácidos que son un buen complemento en relación con el escaso valor nutritivo de las proteínas vegetales, que se obtienen por fermentación. Para esto se usan bacterias hiperproductivas mediante selección genética.

Las consecuencias del progreso de la biotecnología pueden ser gravísimas para los países del Tercer Mundo, si rápidamente no se toman las medidas correspondientes para adaptarse al ritmo que la R.C.T. exige.

Sabido es que a las potencias industriales se les abre la posibilidad de sustituir las importaciones de productos primarios que realizan desde los países subdesarrollados. En otros términos, la actual lucha por un Nuevo Orden Económico Internacional que patrocina la ONU, estaría perdiendo sentido. ¿De qué sirve plantear que se dé una batalla porque se remuneren adecuadamente las materias primas que exportamos y que, a su vez, se nos permita pagar precios justos por los bienes manufacturados que importamos si ya, en muchos casos, nuestros productos no les son indispensables, lo que, a todas luces, se acentuará en el futuro?

A esto debe agregarse que, por razones biotecnológicas, los países industriales podrán poseer autosuficiencia alimentaria.

En la mayor parte de los casos, la extremada sofisticación de los procesos biotecnológicos, hace necesaria la inversión de grandes capitales, lo que abre un campo mucho más propicio para la participación de las empresas transnacionales en tales labores. Al financiamiento a escala industrial de estos procesos, se agrega la contratación de per-

sonal altamente calificado y de gran eficiencia. Esta corresponde, pues, a una nueva fase de acumulación de capital de empresas controladas por oligopolios. A lo que debe agregarse la posibilidad de que, tales empresas, estén en condiciones de imponer a los países pobres “paquetes tecnológicos” caros e imposibles de adaptar o transformar. Es que, según los entendidos, nos encontramos nada menos que frente a un *nuevo paradigma tecnológico* que producirá cambios socio-culturales de efectos trascendentales tanto en el aspecto económico como en el político.

Se habla de los *efectos desestructurantes* que la Revolución Biotecnológica ha de producir en la economía mundial, en que, por ejemplo, los sectores campesinos serán desplazados por las grandes empresas agrícolas; en que el azúcar, el cacao o el café serán “fácilmente” sustituibles; en que los metales, en muchos casos, podrán ser reemplazados por polímeros o cerámicas, productos al mismo tiempo abundantes y baratos.

El alto grado de dependencia de los países del tercer mundo tiende a acentuarse en el campo de los avances biotecnológicos. Muchos países latinoamericanos se adhieren incondicionalmente a las políticas leoninas que en materia de patentes de invención preconiza la gran potencia central o, como en el caso de Costa Rica, abren las puertas a instituciones como la E.A.R.T.H. (Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda) que se apoderan del germoplasma, máxima riqueza de este país. En lugar de intentar desarrollarse mediante el adecuado apoyo al desenvolvimiento de las nuevas tecnologías, en vez de concentrar las inversiones en ID, o bien en financiar adecuadamente a los centros de investigación, venden su alma a los dictados de la Banca Internacional, tras la absurda quimera de equilibrar sus economías, en beneficio del presunto pago de la deuda externa.

En otros casos, se limitan a intentar atraer el capital extranjero haciendo entrega incondicional de vastos sectores del territorio del país a empresas transnacionales o crean extensos parques industriales, zonas francas en que cuando más, se obtiene la migaja de pan de contratar mano de obra nacional, a veces, previamente desahuciada por el propio gobierno. Esto sin que exista interés real por colocar gravámenes que impliquen ingresos reales al fisco; o bien, orientaciones del proceso productivo en beneficio del auténtico desarrollo del país. Tampoco hay preocupación porque los desechos industriales y otros no compliquen aún más el panorama de la contaminación ambiental.

En materia agrícola, por ejemplo, en el futuro los agricultores deberán pagar derechos de patentes a empresas transnacionales para la utilización de ciertos procesos o la generación de productos que se encuentran patentados. “*Al desarrollarse la ingeniería genética, un pequeño número de grandes compañías, dueñas de las patentes estarán en situación de hacerse amas de la ganadería, de la misma forma como sucedió con la producción de simientes (. . .). Los investigadores que no cuenten con copiosos capitales, no podrán pagar los derechos de patentes sobre animales de investigación producto de la ingeniería genética y se verán obligados a abandonar importantes investigaciones*”. (Consejo Mundial de Iglesias, p. 24).

El perjuicio que la biotecnología puede causar a los países del tercer mundo, tradicionales generadores de productos primarios, puede apreciarse a través de los siguientes ejemplos:

–La fabricación de edulcorantes a partir de maíz, (como es el caso del jarabe fructosado) o de petróleo (como es el caso del aspartame), ha disminuido las exportaciones de azúcar a Estados Unidos, de 686 millones de dólares en 1981 a 250 millones de dólares en 1985. (Mertens, p. 74);

–Se está logrando sustituir, con grandes ventajas, el aceite de palma común, principal fuente de este tipo de aceite, por uno de palma derivada de ingeniería genética y cultivo de tejidos, que tiene una mayor resistencia a las enfermedades y produce un 30% más que la palma común, (Idem, p. 75);

–Está siendo sustituida la mantequilla de cacao por la proveniente de vegetales más baratos, como el de palma, girasol y oliva, a partir de procesos enzimáticos, con evidentes perjuicios para los países subdesarrollados productores de la mitad de cacao que se produce mundialmente, (Ibídem);

–Es posible sustituir la vainilla y el pyrethrum (materia prima para pesticidas, soya y harina de pescado, producida por Ecuador, Kenia y Tanzania), (Idem, pp. 75 y 76);

–Se están desarrollando sustitutos para la soya y la harina de pescado, por medio de proteínas unicelulares generadas en procesos biotecnológicos, en que se utilizan como materias primas el petróleo, el gas o desperdicios de madera. Esto afectará a países como Brasil, Chile y Perú sus máximos exportadores, (Ibídem);

–Las semillas pueden ser fácilmente “clonadas” y transformarse en elementos mucho más productivos y resistentes a las enfermedades. Los países del tercer mundo –si no se adoptan medidas correspondientes– deberán comprar semillas patentadas, industrializadas.

No será posible en el futuro mantener las ventajas comparativas propias de productos primarios generados “naturalmente” en los países subdesarrollados. El primer mundo podrá recurrir a sus propios medios surgidos por contribu-

ción de la tecnología de vanguardia. América Latina debe desarrollar sus propias tecnologías básicas. No tiene otra opción. Ya quedó demostrado que el endeudamiento externo sólo acentúa la dependencia. Lo mismo sucede con la importación masiva de tecnologías. Deben tomarse medidas para crear las nuevas; adaptarlas, modificarlas o en último caso, comprarlas, previos los estudios que indiquen las conveniencias respectivas. La ID debe cumplir un papel básico en este aspecto. No tienen que descuidarse, tampoco, las medidas que se tomen a nivel regional.

Las universidades pueden cumplir en este aspecto un papel fundamental. Es preciso que quede palmariamente claro que tales instituciones de altos estudios no deben distraer su atención preferencial transfiriendo ciencia y tecnología por encargo. El doctor Daniel Goldstein lo establece con gran exactitud cuando hace referencia a la situación de las universidades norteamericanas: "*La industria puede imponer o sugerir temas generales, pero por lo general no se obliga o se coopta a los investigadores de primera categoría a dedicar en tiempo y el de sus alumnos a resolver problemas tecnológicos triviales*", (p. 149). Por cierto, que la referencia está hecha a las empresas privadas que financian generosamente las tareas de ID. Antes el doctor Goldstein ha sido enfático al señalar: "*Es necesario comprender que sin una universidad de primera categoría no hay biotecnología*", (Ibídem). El doctor Goldstein deja en claro, también, que pueden utilizarse distractores para hacer creer a los tercermundistas que existe una biotecnología apropiada para su debilidad científica y tecnológica, "buena" y "poco egoísta" y, como si esto fuera poco, desprovista de patentes en contraste con la biotecnología real de los países del primer mundo "*brutalmente competitiva y basada en la creación y el dominio de las fronteras siempre en expansión de la Biología Molecular*", (p. 193).

La Universidad de Costa Rica realiza esfuerzos en el campo de la biotecnología. Ha estructurado un programa que intenta reunir, tanto los recursos humanos, como la infraestructura de las distintas unidades de investigación que dan gran importancia a este campo. Es el caso de los Centros e Institutos de Investigaciones Agronómicas, de Biología Celular y Molecular, de Productos Naturales, de Tecnología de Alimentos, de Granos y Semillas, de Electroquímica, de Ingeniería Química y del Instituto Clodomiro Picado.

Estos organismos están coordinados por el *Programa de Biotecnología de la Universidad de Costa Rica* y centran su interés en el aspecto agroindustrial. Por sus vinculaciones con la Unidad de Transferencia de Tecnología de esta Universidad, cumplen importantes funciones que proyectan a los sectores público y privado de la economía.

Sobre la base de las más actuales orientaciones biotecnológicas, es posible aprovechar los productos de desecho tan abundantes en Costa Rica, como los excedentes del banano, que permiten la elaboración de glucosa y fructuosa y evitar su importación. Se considera, también, la posibilidad de utilizar adecuadamente numerosas especies de plantas con propósitos comestibles, que en la actualidad no se toman en cuenta con estos fines. Lo mismo sucede en relación con la posibilidad de derivar de ellas plaguicidas generados de toxinas naturales; es posible que así se contribuya al control biológico de plagas. Según informaciones que proporciona la M.C.s Ana Sittenfeld, del Centro de Investigaciones de Biología Celular y Molecular y Coordinadora del Programa de Biotecnología de la Universidad de Costa Rica, de casi trescientos cincuenta mil especies de plantas, sólo se ha realizado el estudio, por su interés farmacológico, de unas cinco mil. Estados Unidos ha invertido dos millones de dólares en investigaciones de este tipo, especialmente acerca de plantas que se encuentran en bosques lluviosos. En este sentido, esta investigadora muestra su preocupación "*pues se nos está haciendo tarde para realizar este tipo de estudios, así como para evitar que se lleven nuestros recursos genéticos, sin obtener algún beneficio (. . .). Investigadores extranjeros vienen a los bosques costarricenses, se llevan las plantas, las analizan, sintetizan sustancias y, después, los resultados pasan a propiedad de corporaciones, quienes no ponen valor agregado a aquello que era nuestro*". (Cordero, p. 3). Junto con lamentar el aniquilamiento forestal de Costa Rica, agrega: "*La legislación costarricense es bastante pobre y permite este tipo de cosas. Aunque los extranjeros no están fuera de la ley, existen principios éticos que podrían respetarse*", (Ibídem).

La biodiversidad costarricense es un promisorio campo para el desarrollo potencial de la biotecnología. Es perfectamente posible, también, que aumente la preocupación por esta área en el seno de la propia Universidad. Para ello se requiere de recursos suficientes, dados los altos costos de operaciones necesarios. En una bien entendida concepción de desarrollo, el incremento de la investigación biotecnológica podría ser mayormente significativo para el sector industrial. Según la M.C.s. Sittenfeld "*una planta biotecnológica es generalmente menos onerosa que una de producción de químicos o siderúrgicos*", (Ibídem).

La firma Exot-Impex S.A., producto de la iniciativa privada costarricense, con científicos del país y con la colaboración de las universidades estatales, muy especialmente de la Universidad de Costa Rica y el patrocinio del Ministerio de Ciencia y Tecnología, está poniendo en ejecución un ambicioso proyecto destinado a la elaboración industrial de más de cincuenta tipos de sueros de origen animal, con el propósito básico, no sólo de cubrir las necesidades nacio-

nales, sino de exportarlos en grandes cantidades. De llevarse a la realidad estos proyectos, Costa Rica podría ponerse a la vanguardia en Iberoamérica en dicho tipo específico de investigación, lo mismo que en cuanto a su explotación industrial. El Dr. Gerardo Lara, gerente de esta empresa fue presidente de la Comisión Organizadora del Primer Encuentro Latinoamericano de Biotecnología que se realizó en noviembre del año 1990.

## 6. IMPLICACIONES ÉTICAS DE LA INGENIERÍA GENÉTICA

La acelerada evolución de la ciencia biológica ha abierto un camino ilimitado a la Ingeniería Genética. Este y otros aspectos han dado lugar a lo que se ha llamado la amenaza de la biología: *“Hacer ciencia en nuestros días es aportar, comprometerse y, por desgracia, plegarse a ideologías, modas, demandas militares y presiones socioeconómicas de diversa índole. Al científico no lo dejan ser neutro. Sus conocimientos son mercancía apetecible por parte de la sociedad, ideologías, religiones, filosofías y fuerzas políticas. Y la Biología no ha sido excepción. De inocente, estudiosa de la vida, ha pasado a ser responsable de buena parte de los caminos que recorre la civilización”*. (Cárdenas, p. 10).

Estas palabras adquieren significación especialísima frente al hecho de que está abierta la posibilidad de manipulación genética, a la que deben agregarse los extremos a que ha llegado la sociobiología determinista y reduccionista. *“Es probablemente la amenaza de la manipulación de la biología más sutil y perniciosa jamás imaginable: la de ideologización de una biocracia que consagra las desigualdades entre los hombres como naturales e inevitables, y con pretensiones de un biologismo objetivo que lo mismo pone en marcha un banco de semen de premios Nobel en California, que selecciona genéticamente al personal de ciertas empresas estadounidenses”*, (Idem, p. 13).

Este basamento tiene la llamada Nueva Derecha norteamericana y la inglesa, para implantar la concepción determinista neoliberal: *“Las causas de los fenómenos sociales se hallan, pues, en la biología de los actores individuales (...); cuando se nos informa de las causas de los disturbios juveniles en muchas ciudades británicas en 1981, deben buscarse en una pobreza en las aspiraciones y expectativas creada por la familia, la escuela, el medio ambiente y la herencia genética”*. (Lewontin, p. 17).

En la perspectiva del desarrollo de la biología y en las concreciones de la Ingeniería Genética, se encuentra la reproducción de los animales superiores y del hombre. Se abren las siguientes posibilidades, absolutamente factibles:

- Elección de los hijos a discreción de los padres;
- Inseminación artificial para superar la infertilidad de seres humanos;
- Conservación de embriones animales jóvenes por congelación, que ya se aplica a animales y podría extenderse a la reproducción humana;
- Obtención de un individuo completo a partir de una célula no sexual que, como hemos dicho, también ya se aplica en ciertas plantas y animales, dando origen a individuos genéticamente idénticos a aquel de que provienen.

*“Desde el punto de vista ético estas nuevas posibilidades estimulan la prosecución de la revisión de los conceptos de naturaleza humana y ley natural”*. (Archer, p. 21).

Cree este autor que un hijo podrá ser deliberadamente deseado en relación con su existencia y sexo, pero *“es de temer que una desmitificación de la fecundidad prive de la sabiduría emocionalmente rica del instinto”*, (Idem).

Afirma que algunas anomalías en la formación de óvulos humanos son causados por el tipo de vida que imponen las sociedades industriales, que pueden ser corregidas gracias al avance de la Ingeniería Genética. Esta ha encontrado una tecnología que permite conjugar en un mismo citoplasma genes que antes fueron incompatibles.

*“Con métodos de este tipo se han producido ya nuevos seres vivos altamente ventajosos. Por ejemplo, el gene productor de la somatostatina (hormona cerebral) de interés comercial”*, (Idem, p. 29).

Afirma que las ciencias de la vida se están volviendo responsables de un nuevo tipo de cultura y sociedad y cree que para evitar las irresponsabilidades a que puede llevar una mal entendida autonomía científica *“resulta urgente, tanto a nivel de enseñanza como de investigación, abrir caminos para conciliar las especialidades científicas estancos, integrándolas en unidades pluridisciplinarias. Esta tarea debería ser más fácil en una época como la nuestra que ha descubierto que los más diversos seres vivos establecen entre sí, y con el ambiente, interdependencia y equilibrios ecológicos vitales para su supervivencia”*. (Idem, p. 42, el destacado es nuestro).

Las nuevas situaciones a que conduce el progreso de la ingeniería genética tienen inmensas implicaciones éticas y políticas. Se puede, por ejemplo, producir genes con resistencia múltiple a antibióticos que sean, por ejemplo, agentes generadores de cáncer con posibilidades de provocar epidemias; o bien, es factible la transferencia de genes de un

virus a otro; se puede llegar, inclusive, a la ruptura del equilibrio ecológico, mediante el surgimiento de nuevas especies que podrían impedir la vida humana; puede darse el caso de que surjan seres vivos de carácter letal, cuyo contacto implique la muerte, con consecuencias peores que las de la bomba atómica, dice Archer (p. 52); podría darse el caso de la manipulación genética para fines bélicos, por medio de la generación de bacterias y virus con efectos letales de carácter masivo, etc.

Para intentar poner limitaciones a este tipo de excesos, en 1974, varios connotados científicos hicieron un llamamiento al mundo, que se conoce con el nombre de Bergletter (por estar firmado en primer lugar por Paul Berg) que convocó a una conferencia que se realizó en California en 1975 y contó con la asistencia de 134 científicos de dieciséis países.

El problema de la Ingeniería Genética tiene como repercusiones hechos de carácter socio-político, que inclusive han implicado la constitución de Comisiones Nacionales de Ingeniería Genética, destinadas a establecer normas para su regulación. Los científicos han tomado conciencia de sus peligros potenciales y los Estados han intentado administrar dichas regulaciones.

Los intentos de Hitler por “mejorar” la raza no han sido aislados. Konrad Lorenz decía en 1940, en los momentos en que había genocidios en los campos de concentración alemanes: “*Deberíamos preservar la raza, estar atentos a eliminar los seres moralmente inferiores de forma aún más severa de lo que lo hacemos actualmente ( . . . ). Debemos —y tenemos derecho a ello— contar con los mejores de nosotros y encargarles que procedan a la selección que va a determinar la prosperidad o el aniquilamiento de nuestro pueblo*”. (Archer, p. 65).

Se trata, pues, del evidente sometimiento de la biología a la política.

Si de lo señalado se hace una adecuada prospección, habrá que preocuparse de los graves problemas que se plantearán frente a la evidente posibilidad de escogencia de las características genéticas de las personas. “*La ingeniería genética positiva plantea dos problemas. ¿Podrá estar justificado que intentáramos cambiar la naturaleza humana? Y, en caso afirmativo ¿es el cambio genético un método aceptable?*” (Glover, p. 64).

Vistos los riesgos que se corren por la aplicación política de estas concepciones, vale la pena plantear la necesidad de un organismo mundial destinado al control de este tipo de situaciones, con suficientes filiales nacionales y con un poder real para tomar determinaciones. Esto es, nada menos, lo que planteaba Albert Einstein para evitar que la ciencia y la tecnología, que paradójicamente constituyen una culminación de la cultura humana, sean vehículos de barbarie y deshumanización.

¿Hay que rechazar a la Ingeniería Genética por los riesgos que implica? “Renunciar a la ingeniería genética positiva sería renunciar a toda esperanza de mejora, fundamentalmente, de lo que somos?” (Glover, p. 65).

Lamentablemente, una declaración que expresara una inquietud así, sería firmada con gran entusiasmo tanto por un apasionado idealista, como por un infame tirano similar a Hitler, o por un Premio Nobel de Física y Medicina desviado de ruta, como Konrad Lorenz, o por cualquier coronel francés que haya aprendido bien aquello que le obliga a hacer el Reglamento del Servicio del Ejército Francés (1957): “*el coronel debe desarrollar el patriotismo robusteciendo el amor a la Patria y el sentimiento de la superioridad de la raza*”. (Archer, p. 67).

El peligro resulta de cualquier modo evidente: trátense de gobiernos esclavizantes o de utopistas que planean sobre la realidad.

La tentación de cambiar la vida por estos medios, se levanta como una gran incógnita en el próximo devenir de la humanidad.

## 7. LA REVOLUCIÓN ENERGÉTICA

La Revolución Energética se caracteriza por el surgimiento de nuevas fuentes de energía. Desde la utilización de la propia del hombre hasta el uso de la fisión nuclear, la historia de la energía se confunde con la historia del hombre. Inclusive, es posible concebir una periodización de la historia sobre la base de los diversos tipos de energía que han prevalecido en las diferentes épocas. La comunidad planetaria se ve enfrentada a la necesidad irreductible de utilizar fuentes renovables de energía que, junto con tener bajo costo, pueden ser de “universal” aplicación. Los países subdesarrollados tienen particular premura en este aspecto para incorporarse, en los términos que corresponde, a la economía mundial de acuerdo con los planteamientos hechos por Naciones Unidas. Unesco, por su parte, se preocupa del mejoramiento de la cooperación científica mundial, a través de la creación de un sistema internacional de información

respecto de las fuentes energéticas alternativas, que ponga en contacto a las diversas disciplinas que tienen relación con el fenómeno: la Física, la Ecología, la Biología. Tanto en el procesamiento de esta información, como en su difusión, tiene decisiva importancia la microelectrónica, lo que representa otro hito de las interrelaciones existentes en las cuatro revoluciones tecnológicas, habida consideración del papel que, en este campo juegan la biotecnología y los nuevos materiales.

El inevitable agotamiento de los combustibles fósiles, como el carbón, el gas y, particularmente, el petróleo, ha planteado el desafío de su reemplazo por fuentes distintas de las convencionales, tales como la energía nuclear, la solar, la eólica y la de biomasa.

Según estudios realizados, la disminución gradual del petróleo hará que América Latina produzca en la tercera década del 2000 sólo de un 35% a un 40% del que generó en 1975. De seguir así esta situación, es posible que de exportadora llegue a transformarse en importadora de hidrocarburos, ello en la medida en que no se acentúe la tendencia a su escasez.

La contribución de la biotecnología a la generación de fuentes alternativas de energía es sumamente promisoría. Es el caso del biogás derivado de la biomasa, especialmente de celulosa, pero también de desechos de excrementos humanos y animales. Esto se logra por medio del proceso de digestión anaeróbica de materias orgánicas nitrogenadas por poblaciones microbianas que convierten los ácidos en metano. (Estas explicaciones se amplían más adelante cuando se analiza este fenómeno en Costa Rica).

Otra contribución similar de la biotecnología es la producción de carburantes líquidos, particularmente el etanol. Para ello pueden emplearse materias primas agrícolas como la sacarosa de la caña de azúcar, de la remolacha y de la melaza; el almidón de los cereales de la mandioca y de la patata.

Brasil realiza esta operación a partir de caña de azúcar o de mandioca, que producen 5.6 millones de toneladas de carburante. Aunque el precio del etanol ha sido durante una época superior al de la gasolina en 380 dólares por tonelada, Brasil ha podido disminuir la importación de hidrocarburos y equilibrar la balanza de pagos, al mismo tiempo que utiliza en beneficio propio su producción de azúcar. El etanol tiene aproximadamente 2/3 de la energía de la gasolina, pero, por poseer otras características físico-químicas apropiadas puede hacer funcionar un motor con un rendimiento de kilómetros-galón similar al de la gasolina.

En los Estados Unidos, se ha elaborado metanol (alcohol metílico) a partir de gas natural que, en los últimos años, ha sido descubierto en grandes cantidades. Se calcula que un motor que funcione con metanol puede tener un 20% menos de eficiencia que si funciona con gasolina. El metanol se fabrica también a partir de carbón mineral del cual existen reservas abundantes. Tanto el etanol como el metanol tienen el mérito de contaminar menos el medio ambiente.

En Estados Unidos se fabrica biohol, carburante para automóvil, que contiene el 10% de etanol de maíz. En Europa Occidental mediante el *plan Alcohol C*, se pretendía producir 3.4 millones de toneladas de *bioetanol* mediante la utilización de los excedentes de trigo y remolacha azucarera. Agregado a la gasolina en proporción de 5%, el etanol sustituye al plomo tetraetilo cuya finalidad es aumentar el octanaje.

En Costa Rica, se han realizado esfuerzos encomiables por utilizar el alcohol a fin de mezclarlo con gasolina.

Durante un tiempo se vendió con el nombre de gasohol y tuvo una relativa aceptación de parte de los usuarios. C.A.T.S.A. (Central Azucarera del Tempisque) ha exportado alcohol a Estados Unidos, que se utiliza en la mezcla que da origen a la gasolina "super". Lo mismo ocurre con el ingenio con destiladora de la región de Taboga. Sin embargo, la producción ha sido muy variable y por debajo de su capacidad, debido a que el precio internacional es muy bajo y no paga su costo.

La industrialización de este producto requiere para ser rentable, por consiguiente, de un proceso integrado de producción que incluya la utilización de todo el sistema agrícola productor: follaje para alimentación animal, empleo del bagazo como materia prima para producir papel y, fundamentalmente, producción de azúcar y alcohol.

Esto implica, a su vez, un cambio absoluto en el proceso productivo de la caña, para no trabajarlo en sistema de "zafra" sino de producción continua los doce meses por año; además, serían necesarias grandes extensiones de terreno para su cultivo, lo que restaría lugar para la producción de alimentos. Una hectárea genera ochenta toneladas métricas de caña, que dan origen a cinco mil litros de alcohol. Todos estos antecedentes llevan a concluir que es difícil que se industrialice la producción de caña para producir alcohol. Esto resulta lamentable, pues, suele haber tendencias a la baja del precio del azúcar en el mercado internacional, fundamentalmente, por el uso de azúcares líquidos obtenidos de almidones y por la creciente utilización de sustitutos de azúcares sin calorías como el aspartame y la sacarina.

En Costa Rica, por último, fracasó el proyecto de la elaboración del gasohol, básicamente por el mal estado de las bombas distribuidoras, ya que algunas contenían agua. Además, Recope, por problemas de distribución y de costo, tuvo grandes pérdidas. (Datos aportados por el doctor Orlando Bravo, en entrevista de la Máster Mayra Chavarría).

La búsqueda de opciones no convencionales de generación de energía que contribuya a aminorar la dependencia de combustibles fósiles, se realiza también en Costa Rica mediante la utilización del biogás como combustible. Esto puede lograrse a partir, por ejemplo, de transformar los estiércoles de especies bovinas y porcinas del sector agropecuario. El Instituto Tecnológico de Costa Rica realiza intentos de carácter experimental en este sentido. El biogás se obtiene de la fermentación de estiércol y vegetales mediante bacterias; es, pues, un proceso biotecnológico. Es un combustible constituido por metano, de un 55% a un 70%. Este es similar al propano que se utiliza para cocinar. Posee, además, dióxido de carbono entre un 25% y un 45%, junto con muy pequeñas cantidades de nitrógeno, oxígeno, monóxido de carbono y sulfuro de hidrógeno.

*“Al quemarse el biogás produce una llama azul. Su poder es de 5.400 k-calorías por metro cúbico, equivalente a 0.61 de litro de diesel o a 0.54 de litro de petróleo crudo”.* (Castillo, p. 3).

El biogás se logra mediante *biodigestores*, que son recipientes en los que se produce la fermentación de materia orgánica que genera el gas y, al mismo tiempo, que permite la utilización de desechos, posibilita el ahorro de electricidad y la obtención de fertilizantes para los cultivos. Los interesados, inclusive, pueden obtener la instalación de *biodigestores* a precios módicos en el Instituto Tecnológico. (Programa de Investigación en Energía).

Pasó la época en que se pensaba que la energía nuclear llegaría a constituirse en un sustituto barato del petróleo. Las investigaciones realizadas, plantean que esto sólo podría producirse bastante avanzada la primera centuria del 2000, dados los riesgos y costos elevados que su explotación implica.

La energía solar resulta muy poco costosa para ciertas finalidades de climatización, calefacción, bombeo y producción a muy altas temperaturas. Las mayores expectativas tienen relación con la obtención de electricidad a partir de la luz solar. Los procedimientos destinados al aprovechamiento de esta energía son muy variados. Entre ellos, existen los termodinámicos, los fotovoltaicos, los fotoquímicos y los termiónicos.

La energía eólica, históricamente, se ha aprovechado con propósitos de navegación y con el fin de generar energía mecánica (molinos, bombas de agua, etc.). A fines del siglo pasado, se usó como generadora de energía eléctrica. En la actualidad, existe más de un millón de aerobombas, para fines de uso doméstico, principalmente en Estados Unidos, Australia y Sudáfrica. Su construcción puede ser artesanal o tecnológicamente muy sofisticada. A raíz de la crisis petrolera, hoy se utiliza como generador de energía eléctrica (aerogeneradores). Estados Unidos y la Unión Soviética realizan cuantiosas inversiones para investigar en materia de aerogeneradores. Se considera factible, a comienzos de este decenio, la generación de energía electrónica en gran escala, mediante aerogeneradores interconectados a la red de distribuciones eléctrica. Se estudian, en la actualidad, los problemas derivados de los sistemas de control automático de las grandes aeroturbinas.

Respecto de la actual utilización de la energía solar, de biomasa y eólica, la mayor parte de las tecnologías utilizadas actualmente para el aprovechamiento de estas fuentes no son económicamente viables para su extensión masiva. No obstante, en el futuro próximo, se esperan grandes avances tecnológicos que aumentarán su eficiencia y disminuirán los costos. Un hecho resulta hoy indelible, en los tres recursos señalados se encuentran las fuentes de energía del futuro, sobre todo una vez que se agoten o se hagan demasiado escasos los hidrocarburos.

Frente a las crisis energéticas, además de las opciones ya reseñadas, surge la fusión en frío o controlada, como una esperanza aún sin basamentos científicos de sólida firmeza, no obstante disputarse, hoy, su paternidad dos universidades norteamericanas. Se considera que éste sería el descubrimiento más importante de la R.C.T. Como lo ha señalado un periodista, esto significaría “tener el sol en una botella”.

## 8. LA REVOLUCIÓN DE LOS NUEVOS MATERIALES

Esta revolución se ha generado gracias al desarrollo que ha tenido la denominada ciencia de los materiales “*que estudia la microestructura, las propiedades mecánicas, eléctricas, térmicas, químicas, ópticas y magnéticas y los procesos de manufactura y mejoramiento de los materiales para adaptarlos a necesidades específicas*”. (Gutiérrez, p. 7D).



Esta nueva ciencia es resultante de la ID que se ha acrecentado a partir de la R.C.T. y ha sido motivada por razones inicialmente geopolíticas vinculadas al desarrollo de la ingeniería nuclear, de la aeronáutica, de la construcción de naves espaciales, de la carrera armamentista, etc. Posteriormente, su evolución se ha relacionado con la creación de bienes o la prestación de servicios de base tecnológica, por razones relativas a fenómenos como la ductilidad; la dureza; la resistencia a la corrosión, a las altas temperaturas o a los impactos; la conductividad, la eficiencia energética u otras. Todo esto, por razones de convergencia, ha generado una revolución tecnológica estrechamente relacionada con las demás ya reseñadas; de modo tal, que sin su aporte la existencia de aquéllas sería imposible, como es fácil deducirlo por los antecedentes ya entregados y por los que señalaremos.

Las distintas áreas que constituyen la ciencia de los materiales abarca los *metales*, los *polímeros*, las *cerámicas* y los *materiales compuestos*. Los materiales semiconductores, superconductores y optoelectrónicos, forman parte de estas áreas.

Los llamados *nuevos metales*, aunque fueron descubiertos hace un par de siglos, tienen en común —entre otras aplicaciones— su alta resistencia a la corrosión, puros o en aleaciones, por lo que se emplean exitosamente en ingeniería nuclear. Entre estos se encuentran el zirconio, el hafnio, el niobio, el vanadio, el molibdeno, el tungsteno y el tantalio.

Los metales livianos como el aluminio, el magnesio y el titanio tienen gran aplicación en estructuras, aleaciones y otros. A su vez, el silicio, el germanio, el selenio y el galio son base de la microelectrónica.

Respecto de los *semiconductores*, ya hemos señalado su importancia en el campo de la microelectrónica. Su contribución se basa —como se sabe— en el comportamiento eléctrico de materiales aislantes como el silicio, el germanio u otros, contaminados con impurezas de arsénico, boro, etc. Gracias a este procedimiento se transforman en conductores de electricidad. Hemos rubricado suficientemente la importancia que tienen para los circuitos integrados. Vale la pena agregar que también se aplican en la elaboración de celdas solares, a fin de realizar la conversión de la energía solar en eléctrica.

Los *polímeros* o plásticos —según denominación popular— son derivados sintéticos del petróleo. A su escaso peso debe agregarse la facilidad con que pueden ser moldeados, amén de sus propiedades químicas y mecánicas. Conocidas son sus múltiples aplicaciones en todo tipo de vehículos, construcciones, cajas, envases, muebles, etc., muchas veces en reemplazo de metales.

Se investiga en relación con la elaboración de polímeros más resistentes al calor, a la oxidación y a la luz.

La industria respectiva se ha desarrollado acelerada y exitosamente, gracias a la existencia de petróleo y gas natural como materia prima. En este aspecto, ha sido básico el éxito económico que su elaboración ha derivado, a lo que debe agregarse que se fabrican masiva y automáticamente, lo que abarata, a su vez, su costo. Carlos Rangel hace una lista de los materiales poliméricos más usados a nivel mundial. Aparece un total de veinticinco. Entre ellos cita el polietileno, el polipropileno, el policarbonato, el acetato, el nylon, el poliéster, la melamina, el poliuretano, etc. (p. 99).

Las principales desventajas que tienen los plásticos son su lentitud para biodegradarse y su inflamabilidad. Dos características extremadamente peligrosas para el ecosistema.

Finalmente, el destino de los polímeros está unido a la extinción de los recursos naturales en que se generan. La ID tiene un complejo campo de estudio en este aspecto.

Las *cerámicas* se elaboran mediante elementos metálicos y no metálicos y son muy resistentes a las temperaturas elevadas, a la vez de que son malas conductoras de temperatura y electricidad, al mismo tiempo que se caracterizan por su gran dureza.

Entre los materiales cerámicos, se incluyen las fibras ópticas cuyo promisorio futuro hemos considerado en páginas anteriores en relación con la microelectrónica, a lo que debe agregarse su pronta utilización en el sistema de comunicaciones a distancia en los países desarrollados. Dado su alto costo, es difícil que se usen pronto, de manera extensiva, en el sistema de comunicación domiciliaria.

Se prevé que la importancia de las cerámicas se acrecentará, particularmente en materia de su aplicación a temperaturas muy elevadas para mecanismos electrónicos, refractarios y ópticos. Dado que se quiebran con suma facilidad y tienen costos elevados de fabricación, se intenta disminuir ambos problemas.

Entre los llamados *materiales compuestos* se incluye la combinación de metales entre ellos, de metales y polímeros, de cerámica y metales, de cerámica y polímeros, etc., que mejoran notablemente sus propiedades en materia de ductilidad, dureza y resistencia mecánica y a altas temperaturas. Por ejemplo, se investiga en materia del recubrimien-

to de metales para evitar su corrosión. Por otra parte, mediante aleaciones especiales se han generado materiales muy resistentes a la fuerza mecánica y a las altas temperaturas lo que garantiza su prolongada durabilidad.

Los nuevos materiales han podido sustituir, muchas veces con grandes ventajas, a los tradicionales.

En lugar de aluminio, acero y otros metales estructurales, se han empleado polímeros, ciertos minerales, cerámicas u otros; lo mismo ha ocurrido con el zinc.

El cobre es reemplazado por plásticos, por fibra óptica o por aluminio. Esta situación se agravará en el futuro, tanto en materia de aplicaciones eléctricas (cables) como en la construcción (especialmente cañerías). La miniaturización contribuye a la caída de este metal.

En la actualidad, se investiga en materia de superconductores que sustituyan al cobre y al aluminio. Dado que estos manifiestan sus propiedades a bajas temperaturas, implican, por el momento, gastos demasiado elevados en refrigeración.

El estaño ha sido sustituido por aluminio y plásticos en el mercado de la hojalata, en un 50%. Su utilización como soldadura ha disminuido también por la miniaturización.

Es necesario señalar que tales reemplazos, en muchos casos, se hacen por materiales más caros que los de origen natural, pero con mayores posibilidades de aplicación eficiente. En otras situaciones, obedecen a la inseguridad que se produjo en los países industrializados por las políticas de nacionalización de materias primas finales, durante los setenta y los ochenta, lo que motivó la búsqueda de sustitutos. (Gana, p. 135).

La situación respecto de metales tradicionales no se ha visto agravada tanto por las nuevas aplicaciones que se les han dado como por factores relativos a nuevos procesos, como es el caso de los aceros de alta resistencia. Para países como Perú, Bolivia y Chile, en que los productos mineros representan un 50% de sus exportaciones, la caída de tales productos puede tener graves repercusiones respecto del endeudamiento externo y de sus expectativas de desarrollo.

La única posibilidad que puede avisarse para paliar esta situación se encuentra en la industrialización de los países subdesarrollados en el contexto de una concertación regional cada vez más urgente.

Rangel incluye entre los nuevos materiales a los fármacos y a los combustibles nucleares, por cuanto su concepción de materiales es más amplia que la que utilizan otros autores, lo que evidencia la dificultad que existe para circunscribir los límites de la revolución tecnológica en análisis.

Los fármacos constituirían, pues, otro hito de la revolución de los nuevos materiales. Los antibióticos, las sulfas, las vitaminas, las hormonas (como la insulina) se suman a la larga cadena de otros de menor importancia, como los analgésicos, los psicotrópicos, los barbitúricos, los inmunológicos, los antistamínicos, las vacunas, etc.

La biotecnología pasa a ocupar un papel preponderante en la elaboración de fármacos a cargo de grandes corporaciones transnacionales, por sus propios medios o asociadas entre ellas, dados los grandes esfuerzos científicos, tecnológicos e industriales que implican, lo que hace ilusoria la posibilidad de que América Latina desarrolle una industria farmacéutica propia, no obstante contar con científicos idóneos que terminan, muchas veces, siendo contratados por las grandes corporaciones.

*“La genética molecular y la biología molecular estructural son las disciplinas estratégicas de la farmacología moderna”*. (Goldstein, p. 198), tarea que sólo es posible realizar con la colaboración simultánea de expertos en física, matemáticas, computación, electrónica, ingeniería, química orgánica y biología molecular, requisitos inexcusables para el marco que constituye esa compleja disciplina que es la cristalografía de rayos X, (Idem, pp. 198-199). Si nuestros países quieren sumarse realmente a esta carrera farmacológica, es preciso desarrollar grandes escuelas de biología molecular genética y estructural, microbiología, fisiología animal y humana, farmacología e investigación clínica, (Ibídem).

Así como los nuevos materiales se vinculan a la microelectrónica, a la biotecnología, también están en relación con los energéticos. Es el caso de los *combustibles nucleares* destinados al incremento de la generación de energía eléctrica, como se vio antes. A lo ya señalado debe agregarse que el uranio necesario para un mismo contenido energético costaría siete veces menos que el equivalente de petróleo y cuatro menos que el equivalente a carbón, a lo que debe agregarse la existencia ilimitada de recursos renovables necesarios para las necesidades energéticas cósmicas, ya que los combustibles nucleares pueden ser fabricados por el hombre. (Rangel, pp. 104 a 108). De los trescientos cincuenta reactores existentes en el mundo en la actualidad, se ha pronosticado que aumentarán en el año 2000 a unos 1500; no obstante, esto sólo es presumible, por cuanto subsisten los grandes problemas derivados de los desechos de combustibles altamente radioactivos y los peligros de accidente. Estos y otros antecedentes ponen de manifiesto que

los países subdesarrollados tampoco están en condiciones de producir energía eléctrica por este procedimiento. En caso de que los industrializados pudieran hacerlo primero, aumentaría la amplia brecha que separa a aquéllos de éstos. Debe señalarse que accidentes como Chernobyl han sido una constante en la materia, hecha excepción de Francia. (Rangel, p. 106), (Vilanova).

Respecto de la contribución de Costa Rica a la ciencia de los materiales, debe señalarse que actualmente se trabaja sólo en algunos campos muy particularizados como el de la construcción y la metalurgia. Hay, además, algunos escasos esfuerzos en física del estado sólido. (Gutiérrez, p. 7D).

## 9. A MANERA DE CONCLUSIÓN: FUNCIÓN DE LA UNIVERSIDAD

Es necesario que los países dependientes generen políticas de desarrollo científico y tecnológico paralelamente con las de carácter social y económico.

En este aspecto, es muy importante incentivar la investigación relativa a los aspectos tecnológicos y científicos. No sólo los referentes a su desarrollo específico, sino que en sus vinculaciones económicas y, particularmente, en las de carácter educativo. Este tipo de labor, por estar destinada a la investigación en ciencia básica y aplicada y al desarrollo de nuevos procesos productivos, es el que se conoce con el nombre de *investigación y desarrollo* (ID), como lo hemos reiterado. Es evidente que tales políticas no sólo deben plantearse en sus implicaciones nacionales, sino que en las regionales y continentales. Por otra parte, es absurdo que nuestros países pretendan incentivar el avance científico y tecnológico al margen de una clara y precisa concepción del tipo de desarrollo que requieren. Esta clase de defectos se advierte en la ley de Promoción del Desarrollo Científico y Tecnológico costarricense. Analizada cuidadosamente revela ser, cuando más, un proyecto de fomento industrial, centrado en el estímulo a la empresa privada con pretendidos afanes de reconversión industrial. Dramáticamente, no se explica qué tipo de desarrollo se requiere para Costa Rica y, aunque su base es la investigación que en dicho campo realizan las universidades estatales, jamás se revela preocupación por dotar adecuadamente a estas instituciones desde el punto de vista presupuestario. A todo lo anterior debe agregarse, en dicha ley, como se señaló antes, un enfoque puramente nacional.

No hay que olvidar que se abre promisorio, al menos para sus integrantes, la pronta consolidación de la Comunidad Europea, que incluye, en muchos casos, la ruptura de las fronteras de cada nación, (comunidad en materia de moneda, de mano de obra, de legislación laboral, etc). ¿Puede ser distinto el panorama para la pobre y subdesarrollada Latinoamérica?

*“Los países de América Latina están en condiciones de impulsar una adecuada industria de bienes de capital para fabricar los equipos que se necesitan para elaborar los bienes esenciales requeridos por la demanda interna. Si, además, se procediera a adoptar una vigorosa política de sustitución de importaciones, a escala regional, como se hiciera por necesidad en épocas pasadas, la América Latina podría llegar a ser autosuficiente y políticamente soberana”.* (Schatan, p. 174).

La revolución biotecnológica implica una crisis histórica de insospechables consecuencias. Esta situación tiene como basamento que la *materia prima de función única*, que caracteriza a la reciente División Internacional del Trabajo, pasa a ser sustituida por la *materia prima de función polivalente*. Llegará el momento en que, casi de cualquier materia prima, será posible elaborar un producto muy distinto al que le dio origen. Así como pueden generarse carburantes a partir de la caña de azúcar o de maíz, con base en carburantes pueden elaborarse proteínas. Las materias primas usadas tradicionalmente, entonces, pueden ser sustituidas por otras distintas. En este proceso, además, puede recurrirse al reciclaje, al aprovechamiento de residuos. Al mismo tiempo, es posible utilizar menos energía y menos materia para generar un determinado producto, lo que lleva, incluso, a que algunos autores hablen con cierta exageración de *desmaterialización de la producción*, como lo hemos señalado. Debe quedar claro que esta nueva situación se deriva no sólo de la Revolución Biotecnológica, sino que contribuye a ella la de la Microelectrónica que, a su vez, está en íntima relación con las nuevas opciones energéticas y nuevos materiales, lo cual forma parte del ya citado fenómeno que ha sido llamado *convergencia tecnológica*. En consecuencia, la acentuada estructuración sistémica de la sociedad y de la cultura actuales, hace que los cuatro procesos indicados se constituyan en una sola expresión avanzada del contexto mayor que es la Revolución Científica y Tecnológica.

Al ser alterada la clásica División Internacional del Trabajo, los países subdesarrollados se enfrentan a la alternativa de ser diezmados por el progreso o de adecuarse a sus requerimientos. Como se ha dicho, hasta hoy los países

subdesarrollados han levantado la bandera de la necesidad de un Nuevo Orden Económico Internacional, tendiente a conseguir precios justos, tanto para los productos primarios que exportan, como para los manufacturados que importan. La Cuádruple Revolución Tecnológica hará que muchas de las materias primas —y en el peor de los casos hasta su totalidad— no sean necesarias para los países altamente industrializados, que estarán en condiciones de producir sin recurrir a ellos. En este aspecto, no hay alternativa. Sólo existe la opción de que los tercermundistas sean capaces de generar una ciencia y una tecnología propias, que utilicen los recursos naturales en conformidad con los requerimientos de la R.C.T. Pero esto, a su vez, precisa del establecimiento de nuevos patrones de desarrollo, de acuerdo con la nueva situación que se genera. Debe desaparecer nuestra dramática proclividad imitativa de las sociedades de consumo propias de los países centrales. Una concepción digna del desarrollo tercermundista tiene que considerar la satisfacción de las necesidades básicas de las grandes mayorías. El norte de la gran patria latinoamericana debe ser la estructuración de una economía con características *sui generis*, con perspectivas y alcances continentales, que implique cambios profundos en la estructura productiva. Se necesita, también, de la reorientación del proceso tecnocientífico. Es preciso que procure más y mejores alimentos y manufacturas sencillas, de acuerdo con las necesidades de las masas. Se necesita, en suma, aumentar la capacidad de respuesta para los requerimientos populares. La unidad económica de América Latina puede lograrse sin prescindir de los justos nacionalismos que tipifican al continente. El sueño de Bolívar puede ser adecuadamente sustituido por la Unidad Económica Latinoamericana.

Es evidente que una revolución tecnológica está constituida por lo que Carlota Pérez llama una constelación de innovaciones tecnológicas en un sistema tecnológico, que se difunde en la totalidad de la extensión de un sistema productivo, hasta el punto de tener efectos sobre la totalidad de la economía, (p. 48). Es el caso concreto de las cuatro revoluciones tecnológicas aquí estudiadas, presididas como se ha indicado por la microelectrónica, que han afectado a la totalidad de la cultura en su sentido antropológico. Carlota Pérez cree que, dada esta característica que se expresa en la posibilidad de integración de actividades en redes y sistemas, resulta obsoleto mantenerse dentro del esquema tradicional que hace una separación entre los sectores primario, industrial y de servicios de la economía. El nuevo paradigma abre las posibilidades para la referida integración que puede adecuarse, gracias a la flexibilidad de las tecnologías basadas en la electrónica, a las distintas condiciones culturales y destruir, como se ha dicho, el viejo patrón de consumo imitativo. Es el momento para que los países tercermundistas utilicen las nuevas tecnologías, por cuanto los caracteres del nuevo paradigma hacen posible —contrariamente a lo que sucedía antes— una incorporación autónoma por tratarse de una fase temprana de su evolución. En este aspecto, el aporte de la universidad latinoamericana puede ser sustantivo, dadas las bases académicas que el desarrollo del nuevo modelo implica. Esto ha hecho que efectivamente se produzca la participación de varios países latinoamericanos en este proceso. La única opción posible, la vía del desarrollo endógeno, tiene, entonces, un importante punto de partida; esto, tanto en microelectrónica, biotecnología, como en cuanto a nuevos energéticos y materiales.

Es imprescindible, entonces, generar una nueva educación orientada hacia el desarrollo científico y tecnológico, con las debidas vinculaciones con el aparato productivo.

Corresponde a la Universidad Latinoamericana, a su vez, cumplir un papel fundamental dentro de este proceso. Hace falta que su estructura y acción se orienten a las necesidades de desarrollo de cada país en particular y del continente en su conjunto. Hay que poner fin al centralismo y al burocratismo que la afectan, único medio para abrir campo a la generación de la capacidad creativa de sus miembros. Su organización ha de ser de máxima funcionalidad. La transdisciplina tiene que constituirse en su basamento sistémico. La interdisciplina ha de tipificar al conjunto de la docencia, de la investigación o de extensión. El intercambio, la comunicación, la interrelación, tienen que pasar a ser los pilares de su temple dialógico. Se necesita transformar la acción individual, aislada, en colectiva, concertada, con equipos constituidos por elementos humanos interactuantes, que se caractericen por su espíritu cooperativo y solidario, para vincularlos a la causa del saber y el hacer, en beneficio de la comunidad nacional toda.

Debe entenderse que la labor académica de la Universidad tiene que ser completa y abarcar de modo armónico la totalidad de las funciones clásicas ya reseñadas. Por limitaciones de carácter económico, pero a veces, también, por aberraciones estimativas, la Universidad Latinoamericana pone énfasis en la docencia y descuida el cumplimiento de otras funciones. Dado que la R.C.T. plantea una permanente renovación del conocimiento, hoy no puede concebirse la docencia sin la investigación. Es deber primordial de la Universidad generar su propio saber. Las publicaciones, como única fuente de información, sea cual fuere su tipo, son insuficientes frente al acelerado cambio que tipifica a la

cultura actual. A su vez, es imprescindible que exista una investigación que no necesariamente se funcionalice en la docencia. Todo profesor universitario y todo alumno deben ser aplicados investigadores, pues en el destino de todo miembro de la academia está presente la autodidaxia: la necesidad permanente, continua de la actualización.

La Universidad, entonces, tiene que estimular el trabajo interdisciplinario, sea cual fuere la función de que se trate (incluida por cierto la extensión o acción social). En este sentido, es preciso considerar también este fenómeno en el proceso de evaluación de las publicaciones que son resultado de la labor investigativa. Existe, aún en nuestra institución, el prejuicio de antecedente clásico o medieval que privilegia la labor individual por sobre la colectiva. Ello hasta el punto de que un trabajo elaborado en equipo, puede ser evaluado individualmente, de acuerdo con la nota que merece en total, dividida por el número de participantes que contribuyeron a su realización. En este aspecto, el Reglamento de Régimen Académico de la Universidad de Costa Rica, genera una normativa discriminante para las publicaciones de labor colectiva; por ejemplo, hace una distinción entre autores y coautores. Si la participación de estos últimos es calificada como "*muy diluida*", se evalúa muy negativamente. (Reglamento de Régimen Académico y Servicio Docente, p. 17). Dicho término parece ser un resabio metafórico dejado por las ciencias naturales. Si utilizáramos el lenguaje de la educación, deberíamos decir que es una contribución muy *integrada*. Entonces, lo negativo se transformaría en positivo.

El propio Estatuto Orgánico de la Universidad de Costa Rica, aparenta dar mucha importancia a la labor interdisciplinaria. Esto tiene mero carácter retórico, pues, en general, no se concreta en los hechos. Además, un análisis cuidadoso de este término, nos lleva fácilmente a la conclusión de que se confunde con *multidisciplinarietà*, palabra que, a su vez, se usa en la Institución, aún en muchos documentos oficiales, en el sentido de interdisciplinarietà. Cuando el Estatuto Orgánico se refiere a la Escuela de Estudios Generales, dice que, por ser una Unidad interdisciplinaria, pertenece a más de un Area (art. 119), como si en una misma Area no pudiera realizarse una labor interdisciplinaria. Es evidente que la palabra que debiera haberse utilizado es *multidisciplinaria*; lo que no implica que no sea una aspiración común que esta Escuela llegue a ser, alguna vez, interdisciplinaria, en su aceptación realmente técnica.

Creemos que la Universidad carecerá de una actitud verdaderamente interdisciplinaria y se moverá en un plano meramente formal, discursivo y retórico en relación con el fenómeno en análisis, mientras ella misma no sea interdisciplinaria desde sus mismas bases. Sabido es que las Unidades Académicas, sean Escuelas, Facultades o Areas constituyen verdaderos departamentos estancos y que los intentos de comunicación que se plantean a partir del propio Estatuto Orgánico, carecen en absoluto de significación real. Para evitar esto, es necesario que se conciba a la interdisciplinarietà como un fenómeno estructural, propio de la Universidad y no como han señalado algunas autoridades del pasado, un fenómeno puramente conyuntural. No llegamos, como algunos lo creen, sólo a practicar la interdisciplinarietà de manera voluntaria cuando se dan las condiciones o cuando el tipo de labor académico (docencia, investigación o extensión) que realizamos lo exigen inexcusablemente, a riesgo de no cumplir con la labor científica en su totalidad. La interdisciplinarietà es un deber académico de la hora presente. Es, además, una necesidad imperiosa, pues científicamente el texto requiere del contexto y no hay pretexto que salve de esta obligación, a riesgo de que no quiera verse a la parte formando conjunto con el todo. La mera perspectiva disciplinar ve a una ciencia de manera aislada, sin sus fronteras que, frecuentemente, se encuentran en las disciplinas más próximas y, luego, más allá en el conjunto del saber. La disciplinarietà por sí sola es excluyente. Es, cuando menos, anticientífica y hasta acientífica, sobre la base de las concepciones totalizadoras de la cultura y el saber.

El carácter protagónico que señalamos a las instituciones de altos estudios en el desarrollo científico y tecnológico de nuestros países, ha de verse en el contexto de la función que históricamente corresponde a la Universidad Latinoamericana. Este concepto debe ser objeto de estudios. No obstante, tenemos argumentos suficientemente sólidos para aseverar que, a pesar de sus diferencias, nuestras universidades están unidas por muchos rasgos comunes. Hay unidad en la variedad. (Torres, 1990, pp. 239 a 254).

Lo que sucede en las universidades extrañas a nuestro continente, es algo muy distinto. Así en los países del Este Europeo quienes realizan, principalmente, la tarea de generar conocimientos científicos y tecnológicos son las academias de ciencias y los institutos estatales. En Europa Occidental y Estados Unidos, el gobierno y la empresa privada cumplen de manera preponderante con esta función, mientras que las universidades públicas son líderes en materia de investigación científica y tecnológica, que es generalmente financiada por el Estado.

En América Latina es necesario preocuparse de manera especial de que la labor investigativa tenga vinculaciones con las estructuras productivas. Este aspecto debe tener primordial importancia en la planificación de la labor académica. No es posible que la docencia prevalezca sobre la investigación. Ambas funciones tienen que estar adecuada-

mente relacionadas en conformidad con la práctica real de la interdisciplinariedad. ¿Por qué los estudiantes no pueden aprender investigando?

Sagasti (p. 207) señala que deben crearse unidades de investigación “*orientadas hacia la acción*”, con clara vinculación con las estructuras productivas, separadas de las tareas docentes. Una política de este tipo tendría que ser cuidadosamente calibrada, tanto más cuanto que la concibe fuera del marco institucional universitario, hasta el punto de que piensa que “*la institución líder en el desarrollo de una capacidad científica y tecnológica no debe ser la universidad, sino que han de establecerse y desarrollarse nuevas formas institucionales, con el apoyo de la universidad, para generar a la brevedad posible una capacidad local en ciencia y tecnología*”. Creemos, por el contrario, que hay razones históricas importantes como para dar a la Universidad Latinoamericana liderazgo en este campo. Resulta cuando menos riesgosa la posición de Sagasti, en la época en que vivimos, ya que asistimos al endiosamiento de la empresa privada en detrimento de la función pública del Estado. El extremismo neoliberal privilegia las leyes del mercado. ¿Cuál es el papel que cumple la universidad latinoamericana en la proposición de este autor? ¿Por qué no ha de ser líder en la tarea del desarrollo? Su argumento parece más bien feble. Cree que al intentar cumplir a la vez “*con las misiones de producir conocimientos orientados hacia la acción y de preparar al nuevo hombre latinoamericano (. . .)*”, no puede esperarse que cumpla las funciones eficientemente”. (Sagasti, p. 207).

Vale la pena preguntarse ¿por qué deslindar la formación humana de la relativa a la generación de ciencia y tecnología, como si no se tratara de dos aspectos interdependientes de la misión académica? Además ¿quién va a determinar el tipo de desarrollo que se requiere: el Estado, la empresa privada, o va a ser producto de la acción concertada de ambos? ¿Qué ocurrirá cuando exista coincidencia ideológica negativa hacia los intereses de la nación entre estos organismos? La presencia de la Universidad resulta determinante en este campo, dado el carácter autónomo que la tipifica y que le permite disentir en nombre de la *ciencia*, de la cual es la representante más idónea. Su carácter de “*conciencia lúcida*”, junto con hacerle posible que se mantenga al margen de la contingencia político-económica, desvirtuada por las ideologías militantes, le permite pugnar por una percepción de desarrollo que beneficie a las grandes mayorías. Se abre la posibilidad de que esté en mejores condiciones para evitar una proclividad a una concepción orientada a incentivar el consumo superfluo de las élites.

Por otra parte, conocida es la renuencia del sector privado latinoamericano para participar significativamente en programas de investigación y desarrollo a diferencia de los países industrializados en que, como en el caso de Japón supera el 60% y en los Estados Unidos e Inglaterra está al borde del 50% (Correa, p. 57).

Como lo hemos señalado, respecto de las Universidades, la docencia y la investigación deben desarrollarse integradamente. Postulamos que no puede haber docencia desvinculada de la investigación y que los mejores investigadores tienen que difundir su capacidad ejerciendo “*la docencia de la investigación*”. Daniel Goldstein cree que es más importante que éstos enseñen en los primeros cursos: “*Es así como se forjan vocaciones, se detectan talentos. Se enseña a amar y a respetar la ciencia*”, (p. 236). “*El único camino para mejorar la educación es convertir nuestras universidades en centros de investigación. Los científicos de los institutos tienen que volver a la universidad y enseñar en la universidad*”. (Goldstein, p. 235). No es justo que los investigadores excelentes no enseñen las bases de su metodología. En última instancia, no se puede hacer docencia sin investigación, ni investigación sin docencia. Si las circunstancias indicaran que es preciso prescindir de uno u otro fenómeno, podría aceptarse una investigación sin docencia, pero jamás una docencia sin investigación.

Proyectar la universidad en la sociedad, es un proceso de doble vía que implica, a su vez, su transformación en activa receptora de los efectos sociales de su labor. Esta transferencia que es acción y reacción, es la que vitaliza la Educación Superior Universitaria. Es ella la institución que cautela los superiores intereses de la nación. En este campo la “*investigación para la acción*” de que habla Sagasti es imprescindible. Es una palanca insoslayable para el desarrollo. La transferencia de tecnología hacia el sector industrial es de vital importancia, lo mismo que la participación en proyectos conjuntos.

Sábato cree que América Latina no tiene otro camino que “*alcanzar la capacidad autónoma del manejo de tecnología*”, (p. 239), primordial objetivo de toda nación soberana, pero señala que, antes, debe superarse la escasa articulación que existe entre los protagonistas de tal tarea: los funcionarios estatales, los empresarios y gerentes y los científicos y técnicos. Es lo que se ha denominado *el triángulo de Sábato*: la interrelación que en el proceso de producción de ciencia y tecnología debe tener el Estado, la industria y los investigadores en ciencia y tecnología. En el caso concreto de Costa Rica y otros países latinoamericanos, es la Universidad la que realiza casi el ciento por ciento de tal labor en el país; luego, tiene que cumplir un papel importantísimo en la concreción de esta tarea, que debe vincularse al

marco regional mediante el establecimiento de “empresas de tecnología latinoamericana” (Sábato, p. 247) requisito para resolver problemas no sólo de carácter científico y tecnológico sino que los relativos a producción y mercado. Lo mismo puede indicarse para la región mesoamericana. “*Centroamérica debería desarrollar una capacidad técnico-científica que, además de permitirle acceder al desarrollo y producción de tecnología, le permita apropiarse y domesticar aquella tecnología desarrollada en los países desarrollados, que sea útil y necesaria para los países de la región*”. (Arias, p. 270).

No obstante, debe estar claro que es imposible la generación de tecnología y su correlato la innovación tecnológica si no hay una elevada inversión en *investigación y desarrollo* (ID). Las modernas tecnologías cambian con rapidez inusitada: “*Más de la mitad de los productos del sector (informático) que están en el mercado tienen probablemente menos de cinco años de antigüedad. Una proporción igual de los productos que se venderán en el próximo lustro no existen hoy*”. (Correa, p. 55).

Así como en informática una generación de computadores sucede a la otra, en biotecnología acontece lo mismo. La segunda generación se da en los setenta y abarca los modernos procesos de fermentación de enzimas. La tercera generación se basa en la recombinación de ADN con la fusión celular. (Chesnais, p. 260). Estamos, pues, de manera permanente, frente a una situación de cambio tecnológico. Pero esto no es obra de la casualidad ni de una espontánea evolución científica y tecnológica, sino de las cuantiosas y constantes inversiones en ID.

En Estados Unidos, el fisco es un sólido contribuyente a este tipo de investigación: financia más de la mitad de la que se realiza en todo el país. (Correa, p. 61). En 1983 se invirtieron en el mundo 265 millones de dólares en ID; 72.7% correspondieron a los países industrializados capitalistas; 24.2% a los países socialistas y 3.1%, a los subdesarrollados, (Idem., p. 57). Sin inversiones reales y sostenidas de estos países cualquier aspiración de generar tecnologías propias es pura ilusión. Los componentes del triángulo de Sábato, concertadamente, tienen que enfrentar este desafío tecnológico. “*El gobierno de Reagan ha sido el campeón de la ciencia básica conducente a nuevas tecnologías. En los últimos seis años, el apoyo federal para tal investigación en gran parte concedido a las universidades, aumentó 61% para llegar a 9.700 millones de dólares*”. (Correa, p. 155), lo mismo puede señalarse respecto de la contribución de la industria a la investigación universitaria que alcanzó a 375 millones de dólares en 1987, (Ibídem).

Extrañamente la política restrictiva que aplican los organismos internacionales a los países subdesarrollados obliga —por lo menos según los personeros gubernamentales— a limitar el financiamiento de las universidades. Sin embargo, la metrópoli comprende que un apoyo a la investigación universitaria es una palanca poderosa para el avance científico y tecnológico. Por otra parte, la empresa privada —que en nuestros países propicia el autofinanciamiento de las universidades, no obstante pretender usufructuar de su contribución en ciencia y tecnología, como queda claro en la ley Promoción del Desarrollo Científico y Tecnológico de Costa Rica— en Norteamérica no escatima esfuerzos para ayudar también a la función investigativa universitaria. Es esta una clara expresión de la *doble faz* que la economía central presenta. Una cara para la política interior y otra para el exterior. Lo mismo en relación con la economía de mercado que aplica el centro nacionalmente y que es distinta a la que se hace operar en el comercio mundial, ya que prevalecen los monopolios de los grandes productores y de las empresas transnacionales, que impiden que operen las leyes del mercado internacional. Por eso, creemos que deben ser cuidadosas las políticas que en el sentido indicado deben aplicar los países subdesarrollados. Cualquier ortodoxia extrema puede tener irreparables consecuencias, tanto más si perjudica a las instituciones universitarias, en virtud de normas desestatizantes de imposición extranjera; todo ello, a fin de cumplir con la bullada reforma del Estado. No falta la autoridad de gobierno que aspire a que estos organismos se autofinancien con el cobro de elevados derechos de matrícula y con la venta de servicios o con la transferencia de tecnología por encargo.

Eludida la responsabilidad del Estado es difícil o imposible que la Universidad Pública cumpla con la misión de contribuir eficazmente al real desarrollo del país. Su tarea fundamental pasa a ser la “rentabilidad” de la labor académica. Se confunde entonces, en los hechos, con los propósitos de la empresa privada, estructurada sobre la base de la relación costo-beneficio, entendida desde una perspectiva de simple carácter lucrativo.

Finalmente, la concreción del triángulo de Sábato resulta ser una utopía en nuestros países. El Estado es obligado a no cumplir adecuadamente con su función social de financiar a las universidades. Estas reducen algunos programas o bien los cancelan del todo. Pagan de manera inadecuada a los académicos. Una disfuncionalidad estructural transforma a la universidad en un complicado laberinto regido gerencial y tecnocráticamente, con añejas ideas en que prevalecen las pautas de un burocratismo, capaz de impedir la feliz concreción de muchas ideas brillantes. Descuidan la calidad académica, que se rebaja tanto por la estrechez presupuestaria cuanto por políticas erráticas “sin ton ni son”.

Las propias legislaciones de las Repúblicas se transforman en vallas insalvables. Como en el caso de Costa Rica, la Ley de Administración Financiera y la de Administración Pública impiden toda la agilidad que la rapidez del cambio científico y tecnológico requiere. La propia "Alma Mater" no hace valer, en estos casos, su autonomía, que le permitiría generar una legislación propia.

En la Universidad de Costa Rica no existe ninguna forma de coordinación académica representativa y eficiente. La planificación se convierte en un engaño formal, que sólo existe para efectos de la aprobación anual del presupuesto.

No hay posibilidad, pues, de que la institución cumpla su papel a cabalidad, por razones presupuestarias, académicas y administrativas.

El sector productivo atacado por el grave mal del neoliberalismo más recalcitrante, patrocina a las universidades privadas que, en Costa Rica no dedican un centavo a la investigación. No obstante, como ya se ha dicho, éste sector, sí estima conveniente usufructuar de los productos que genera la investigación de las instituciones públicas.

La Universidad Latinoamericana busca, en tales casos, salidas irregulares para romper el señalado cerco. Se recurre a artimañas legales para crear fundaciones, centros o institutos que legalmente no pertenecen a ella, pero que, de hecho, utilizan investigadores y recursos universitarios que benefician a las personas, pero no a las instituciones de altos estudios. Esto se concretó en la década del 70 en algunas universidades, por ejemplo en Brasil. "*Estas entidades podían así negociar y contratar por su cuenta proyectos de investigación con el sector privado, utilizando recursos universitarios y escapando a las restricciones institucionales de las organizaciones académicas*". (White, pp. 186-187).

Este hecho es resultante de que la universidad se declara impotente para adecuar sus estructuras a los requerimientos del acelerado progreso a que conduce la R.C.T., a lo que se agrega la ya señalada dificultad para superar las trabas que imponen las legislaciones nacionales.

Surge, entonces, la universidad paralela, símil nefasto del Estado paralelo que tipifica a muchas de nuestras repúblicas. Se respeta la forma, pero se cambia el fondo. Lo que la universidad no puede hacer lo hacen los universitarios, pero ¿en qué medida esto resulta beneficioso para garantizar la existencia del Alma Mater? ¿Hasta qué punto no se está traicionando su esencia?

¿Seremos capaces de enfrentar los desafíos que plantea la Cuádruple Revolución Tecnológica? ¿Se adecuará nuestra institución a las exigencias inevitables que le plantea el progreso? Estas son incógnitas que debe resolver nuestra Comunidad Universitaria. La respuesta debe ser rápida, o seremos víctimas de los efectos negativos del progreso. La celebración del cincuentenario es una ocasión propicia para meditar en este asunto.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBINSSON, Harry, "Necesidades energéticas del proceso de industrialización". En: *Comercio Exterior*, Banco Nacional de Comercio Exterior de México S.N.C. Vol. 39, N° 3, marzo de 1989.
- ALONSO Concheiro, Antonio y Luis Rodríguez Viqueira, *Alternativas Energéticas*. México, Fondo de Cultura Económica, 1985.
- ARAOZ, Alberto, "La cooperación latinoamericana en áreas de tecnología de punta", En: *Comercio Exterior*, Banco Nacional de México, Vol. 37, N° 12, México, Dic., 1987.
- ARCHER, Luis J., *La amenaza de la Biología*. Madrid, Pirámide, 1983.
- ARIAS Peñate, Salvador, *Biotecnología: Amenazas y perspectivas para el desarrollo de América Central*. San José, (Costa Rica), Departamento de Investigaciones Ecuménicas, 1990.
- ARROYO, Gonzalo, "El desarrollo reciente de la biotecnología". En: Carlos Ominami, *La Tercera Revolución Industrial: impactos internacionales del actual viraje tecnológico*. Buenos Aires, Grupo Editor Latinoamericano, 1986.
- AUREL, David, *La cibernética de lo humano*. Barcelona, Labor, 1973.
- AYRES, Robert U., *La próxima Revolución Industrial: la industria a través de la innovación*. México, Gernika, 1987.
- BASTOS Tigre, Paulo, "Las tendencias internacionales en la Electrónica". En: Carlos Ominami, *La Tercera Revolución Industrial: impactos internacionales del actual viraje tecnológico*. Buenos Aires, Grupo Editor Latinoamericano, 1986.



- BERNAL, John, D., "Veinticinco años después". En: John Bernal y otros, *La ciencia de la ciencia*. México, Grijalbo, 1964.
- Historia Social de la ciencia: la ciencia en nuestro tiempo*. Tomo II, Barcelona, Península, 1979.
- BERNSTEIN, Jeremi, *Observaciones de la ciencia*. México, Fondo de Cultura Económica, 1988.
- BOIS, Daniel y Emmanuel Rosencher, "Las fronteras físicas de la microelectrónica". En: *Mundo científico*, N° 86, España, S.F.
- BOLAÑOS Maroto, Ronald, "Las computadoras del futuro". En: *Tecnología*, suplemento mensual del periódico *La Nación*, N° 4, San José (Costa Rica), 25 de octubre de 1990.
- BRAUN, E. y S. Mac Donald, *Revolución en miniatura: la historia y el impacto de la electrónica del semiconductor*. Madrid, Fundesco/Tecnos, 1984.
- BUNGE, Mario, *Seudociencia e Ideología*. Madrid, Alianza, 1985.
- CARDENAS, Jacobo, "Prólogo a la Edición Española". En: Luis J. Archer, *La amenaza de la Biología*. Madrid, Pirámide, 1983.
- CASTILLO, Gabriel, *Manual de biogás*. San José, (Costa Rica), Instituto Tecnológico de Costa Rica, S.F.
- CLAESSENS, Michel, *Los descubrimientos científicos contemporáneos*. Barcelona, Gedisa, 1989.
- CONSEJO MUNDIAL DE IGLESIAS, *Bioteología: Problemas que plantea a las Iglesias del mundo*. Ginebra, Suecia, Servicio de Iglesias y Sociedad, 1989.
- CORDERO, Luis Fernando, "Bioteología: la magia se produce en el laboratorio". En: *Crisol*, Suplemento de Ciencia y Tecnología del Periódico *Universidad*, N° 21, septiembre, 1990, San José, (Costa Rica).
- CORREA, Carlos María, "Innovación tecnológica en la informática". En: *Comercio Exterior*, Banco Nacional de Comercio Exterior, S.N.C., Vol., 38, N° 1, enero, 1988, pp. 54-57 y Vol. 38, N° 2, México, febrero, 1988.
- CHESNAIS, Francois, "La biotecnología y la exportación de productos agrícolas de los países en desarrollo". En: *Comercio Exterior*, Banco Nacional de Comercio Exterior, S.N.C., Vol. 40, N° 3, México, marzo 1990.
- DOUZOU, Pierre y otros, *Las biotecnologías*. México, Fondo de Cultura Económica, 1986.
- GANÁ, Juanita, "La aparición de nuevos materiales y su impacto sobre el uso de recursos naturales". En: Carlos Ominami, *La Tercera Revolución Industrial: impactos internacionales del actual viraje tecnológico*. Buenos Aires, Grupo Editor Latinoamericano, 1986.
- GARCIA Silva, Marcelo, "Las alternativas energéticas y el descenso de los precios del petróleo". En: Carlos Ominami, *La Tercera Revolución Industrial: impactos internacionales del actual viraje tecnológico*. Buenos Aires, Grupo Editor Latinoamericano, 1986.
- GLOVER, Jonathan, *El hombre prefabricado: problemas éticos de la Ingeniería Genética*. Barcelona, Ariel, 1986.
- GOLDSTEIN, Daniel J., *Bioteología, Universidad y política*. México, Siglo XXI, 1989.
- GUTIERREZ, Claudio y Marlene Castro, *Informática y Sociedad*. San José, (Costa Rica), Educa, 1987
- GUTIERREZ, Luis, "Nuevos materiales contribuyen al desarrollo". En *Tecnología*, suplemento mensual del periódico *La Nación*, N° 4, San José, (Costa Rica) 20 de diciembre de 1990.
- JUNNE, Gerd, "Sorpresas para el tercer Mundo". En: *Nueva Sociedad*, N° 96, 1988.
- LEWONTIN, R. C. y otros, *No está en los genes: racismo, genética e ideología*. Barcelona, Grijalbo, 1987.
- MERTENS, Leonard, *Crisis económica y Revolución tecnológica: Hacia nuevas estrategias de las organizaciones sindicales*. Caracas, Nueva Sociedad, 1990.
- MINSKY, Marvin y otros, *Robótica: la última frontera de la alta tecnología*. México, Planeta, 1986.

- MOTO-OKA, Tohru, "Los ordenadores de la quinta generación". En: *Mundo Científico*, N° 37, España, S.F.
- OMINAMI, Carlos, *La Tercera Revolución Industrial: impactos internacionales del actual viraje tecnológico*. Buenos Aires, Grupo Editor Latinoamericano, 1986.
- "Tercera Revolución Industrial y opciones de desarrollo". En: *La Tercera Revolución Industrial: impactos internacionales del actual viraje tecnológico*. Buenos Aires, Grupo Editor Latinoamericano, 1986.
- PEREZ, Carlota, "Las nuevas tecnologías: Una visión de conjunto". En: *La Tercera Revolución Industrial: impactos internacionales del actual viraje tecnológico*. Buenos Aires, Grupo Editor Latinoamericano, 1986.
- QUINTERO, Rodolfo y Ana Irene Solórzano, "Prospectiva de la biotecnología Latinoamericana". En: Leonel Corona, *Prospectiva científica y tecnológica en América Latina*, México, Facultad de Economía, Universidad Autónoma de México, 1989.
- RADA, Juan F., *El impacto de la microelectrónica y la tecnología de la Información: evaluación de casos en América Latina*. Francia, Unesco, 1982.
- RADA, Juan F., *La microelectrónica, la tecnología de la información y sus efectos en los países en vías de desarrollo*. México, El Colegio de México, 1983.
- RANGEL Nafaile, Carlos E., *Los materiales de la civilización*. México, Fondo de Cultura Económica, 1987.
- ROSENBROCK, Howard, "¿Una nueva Revolución Industrial?". En: Claudio Gutiérrez y Marlene Castro, *Informática y Sociedad*. San José, (Costa Rica), Educa, 1987.
- SABATO, Jorge A., Michel Mackenzie, *La producción de tecnología*, México, D.F., Nueva Imagen, 1982.
- SAGASTI, Francisco R., *Ciencia, Tecnología y desarrollo latinoamericano*. México, Fondo de Cultura, 1981.
- SANMARTIN, José, *Los nuevos redentores: reflexiones sobre la ingeniería genética, la sociobiología y el mundo feliz que nos prometen*. España, Antropos, 1987.
- SENEZ, Jacques, "La nueva biotecnología: promesas y realizaciones". En: *Biotecnología y agricultura*. Correo de Unesco, marzo, 1987, año XL.
- SCHAFF, Adam, *¿Qué futuro nos aguarda?: las consecuencias sociales de la Segunda Revolución Industrial*. Barcelona, Grijalbo, 1985.
- SCHATAN, Jacobo, *América Latina, deuda externa y desarrollo: un enfoque heterodoxo*. México Sociedad Cooperativa de Publicaciones Mexicanas, 1985.
- TORRES, Raúl; Mayra Chavarría, *Cultura, Ciencia y Técnica*. San José, (Costa Rica), Guayacán, 1988.
- La Revolución Científica y Tecnológica, un aporte para la discusión*, Inédito, 1990.
- TORRES, Raúl, "La Universidad Latinoamericana en la Revolución Científica y tecnológica". En: Raúl Torres Martínez, Mayra Chavarría López, *La Revolución Científica y Tecnológica, una introducción para su estudio*, San José, (Costa Rica), LIL, 1990.
- UNIVERSIDAD DE COSTA RICA, *Estatuto Orgánico*, San José, (Costa Rica). Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica, 1990.
- Reglamento de Régimen Académico y Servicio Docente*, Consejo Universitario, Centro de Información de la Universidad de Costa Rica, 1988.
- VEGA, Fernando E. y Javier Trujillo Arriaga, "Biotecnología agrícola de la Revolución Verde". En: *Comercio Exterior*, Banco Nacional de Comercio Exterior S.N.C., Vol. 39, N° 11, México, noviembre, 1989.
- VILLANOVA, Santiago, *Chernovil: el fin del mito nuclear*. Barcelona, Anthropos, 1988.
- VUSKOVIC C., Pedro, René Escoto, *Pequeños países periféricos en América Latina*. Caracas, Nueva Sociedad, 1990.
- WAES, INFORME DEL, *Energía: perspectivas mundiales 1985, 2000*. México, Fondo de Cultura Económica, 1981.

WHITE, Eduardo, "Políticas e instrumentos para el desarrollo de las nuevas tecnologías en América Latina". En: *Comercio Exterior*, Banco Nacional de Comercio Exterior, S.N.C., Vol. 39, N° 11, México, noviembre, 1988, pp. 966-977.

WILLIAMS, Raymond, *Hacia el año 2000*. Barcelona, Grijalbo, 1984.

YANCHINSKY, Stephanie, *Hacer trabajar los genes: la nueva era industrial de la Biotecnología*. Barcelona, Planeta, 1985.

ZARIC, Zoran, "Inventario mundial de la energía". En: *Energías para el siglo XXI*, Correo de Unesco, julio, 1981, año XXXIV.